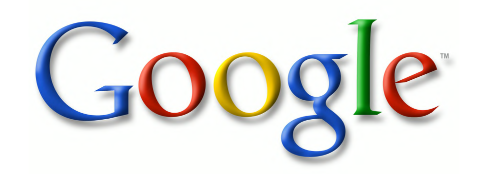




ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

SUR

LA PHONATION



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

SUR

LA PHONATION

BOURLOTON. — Imprimeries réunies, B.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

SUR

LA PHONATION

PAR

LE D[r] M. LERMOYEZ

Ancien interne en médecine et en chirurgie des hôpitaux de Paris

Membre de la Société clinique

PARIS

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1886



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

SUR

LA PHONATION

PREMIÈRE PARTIE

EXPÉRIENCES

CHAPITRE PREMIER

LES QUATRE MODES D'ÉTUDE DE LA PHONATION

A qui veut comprendre le mécanisme de la phonation, quatre modes ou sujets d'étude sont offerts :

1° — L'homme vivant;
2° — L'animal;
3° — Le larynx artificiel;
4° — Le cadavre.

1° L'homme vivant

Il semble, avant toute réflexion, que le meilleur moyen de surprendre la formation de la voix soit la voir à l'état naissant dans le larynx de l'homme qui

parle ; et on croirait aisément que de tous les procédés d'investigation vocale, celui-là doive être le premier en date et en perfection : or, justement ce n'est ni le plus ancien ni le meilleur.

L'expérimentation cadavérique est son aînée de plus d'un siècle.

Ainsi en 1743, deux ans après la publication des célèbres expériences de Ferrein [1], Levret renonçait aux recherches qu'il avait entreprises pour trouver un moyen d'examiner les parties internes du cou par la lumière réfléchie.

En 1807, Bozzini (de Francfort-sur-le-Mein) présentait à la Faculté de Vienne son conducteur de la lumière, sans qu'il en résultât pour la physiologie le moindre profit.

Cependant vers 1827, les médecins se mirent avec plus d'empressement à la recherche du laryngoscope. Senn (de Genève) imagina, sans y réussir, de voir à l'aide d'un petit miroir analogue à ceux dont nous nous servons actuellement, la glotte d'un enfant atteint de dyspnée. Dès lors, l'instrument fut conçu : mais la gestation en dura près de trente ans, malgré les tentatives de Babington (Société huntérienne de Londres, 1827), Bennati (Guérison du mécanicien Selligue, 1832), Trousseau et Belloc (1832), Baumès (Lyon, 1838), Liston (Londres, 1840), Avery (Londres 1840), Warden (Édimbourg, 1844). Manuel Garcia [2] (1855) le mit au monde; mais sans avoir le scepti-

1. Ferrein. *De la formation de la voix de l'homme* in *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1741.
2. Manuel Garcia. *Observations on the human voice* (*Proceedings of the Royal Society*, vol. VII, n. 13, p. 399).

cisme de Merkel[1], on peut dire que cet instrument, subissant le sort de ses devanciers, aurait peu vécu sans ses parrains Türck (1857) et Czermak (1857) qui en firent ce que l'on sait.

Seulement, le laryngoscope vint trop tard : la théorie de la phonation était faite quand il parut. Pendant ces trente années de tentatives stériles, les physiologistes, laissant les médecins se débattre au milieu de leurs essais, avaient suivi la voie tracée par Ferrein : et quand Garcia vit pour la première fois chanter une glotte, les merveilleuses expériences de J. Mueller avaient depuis longtemps fixé la science sur ce point.

Peut-être trouvera-t-on étrangement paradoxal que je cherche à ravaler l'institution sainte du laryngoscope, d'autant que dans la spécialité il ne parait livre, thèse ou mémoire qui ne contienne son éloge obligé, toujours le même d'ailleurs, et transmis d'auteur en auteur avec un respect scrupuleux qui en altère à peine le texte. Mais je suis persuadé que si ce petit instrument a fait le plus grand bien à la pathologie laryngée, il a joué en revanche plus d'un vilain tour à la physiologie.

Le procès que j'intente ici au laryngoscope roule sur trois points :

1° L'examen laryngoscopique de la glotte saine montre des résultats mais non des causes; on y voit le jeu des cordes vocales, résultante des forces combinées des muscles qui les meuvent, mais on ne voit ni comment ni par où ces muscles agissent, pas plus qu'en voyant tourner les aiguilles d'une pendule on

1. Merkel. *Anthropophonik.* Leipzig, 1857.

ne se rend compte de son mécanisme d'horlogerie. Les enfants démontent leurs jouets pour en étudier le fonctionnement : le larynx aussi demandé à être démonté, à être expérimentalement dissocié pour livrer ses secrets.

Quant à la méthode adoptée par Bataille, Vacher, etc., qui consiste à fonder une théorie de la voix sur l'observation laryngoscopique des vibrations de la glotte, on sait qu'elle est éminemment défectueuse, à moins que cette observation ne s'aide du procédé laryngostroboscopique d'Œrtel[1]. Le professeur Gavarret[2] a fort bien démontré que « de ce que le mouvement des parties extrêmes des cordes vocales n'est pas perçu dans l'image laryngoscopique, on n'est pas autorisé à conclure que ces parties ne vibrent pas ; même dans une corde librement tendue et d'une aussi faible longueur, il serait bien difficile, pour ne pas dire impossible, à l'œil nu et avec des amplitudes très limitées, de constater nettement des vibrations ailleurs que dans la partie centrale... » A cela il faut ajouter que l'image laryngoscopique est réfléchie par un miroir qui en altère fatalement la netteté, et qu'elle se trouve à une distance obligée de l'œil de l'observateur telle qu'elle ne lui permet pas l'étude de mouvements aussi délicats.

Cet inconvénient pourrait, il est vrai, être atténué par le procédé laryngoscopique d'Hirschberg[3] (redres-

1. Oertel. *Laryngostroboskopische Beobachtungen über die Bildung der Register bei der menschlischen Stimme* (*Centralblatt für die medic. Wissenschaften*, 1878, p. 81-99).

2. Gavarret. *Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition.* Paris, 1877, note C., p. 575.

3. Hirschberg. *Ueber laryngoskopische Untersuchungs Methoden* (*Arch. für die gesamm. Physiologie des Menschen, etc.*, 1878).

sement et agrandissement de l'image laryngienne) : mais je n'ai point vu qu'il ait été jamais employé chez nous.

2° Certes l'observation de la glotte malade rend plus de services ; c'est là un procédé qui semble avoir été négligé en France, mais dont les Allemands et les Américains ont tiré grand avantage. — Il est de toute évidence que si la destruction de telle partie du larynx coïncide avec le maintien de l'intégrité vocale, c'est qu'il n'y a pas en ce point d'élément constituant essentiel de la phonation. Cependant ce procédé d'investigation par la physiologie pathologique est, comme le critique dont parle Boileau, « plus enclin à blâmer que savant à bien faire », en ce sens qu'il suffit souvent d'une simple observation de dysphonie pour ruiner une théorie née dans un laboratoire de physiologie pure, tandis qu'au contraire tous les matériaux accumulés par la clinique ne suffiraient point à bâtir de toutes pièces un système de phonation qui soit vrai. C'est ainsi que Michael[1], prenant comme point de départ de ses recherches l'étude des malades atteints de parésies partielles des muscles du larynx, est arrivé à déduire de faits vrais, et par un raisonnement serré et juste, des hypothèses au moins improbables. Inversement Jelenffy[2] ayant imaginé une ingénieuse décomposition des forces musculaires du crico-thyroïdien, en trouva la parfaite confirmation chez un malade à qui Krishaber avait fait la laryngotomie externe.

1. Michael. *Zur Physiologie und Pathologie des Gesanges* (*Berliner klinische Wochenschrift*, 1876, n° 36, p. 520, n° 37, p. 534).

2. Jelenffy. *Der musculus crico-thyreoideus* in *Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere*. Bonn, 1873, Bd VII, Heft 1, p. 77-90.

En somme l'examen laryngoscopique de l'homme sain et surtout de l'homme aphone est un indispensable complément de toute expérimentation physiologique : c'est une épreuve ultime à laquelle doit se soumettre toute théorie édifiée déjà, pour en recevoir un brevet de vérité définitive : mais là se borne son rôle.

3° Un troisième point, sur lequel on a peu insisté, demande à être mis en évidence : la question est simplement posée ici en quête d'une réponse. M. Vacher, — je prends un exemple connu — possède une voix extraordinaire de quatre octaves pleines : du sol_1 il monte au $ré_4$ en voix de poitrine et au sol_5 en voix de tête : par cela même il est en opposition flagrante avec les faits ordinaires de voix à deux octaves. Naturellement M. Vacher a été tenté de faire de l'auto-laryngoscopie : or a-t-il vraiment raison de puiser dans la simple observation de son larynx anormal une théorie qu'il applique et généralise par analogie à tous les larynx normaux? Je sais que M. Vacher a largement vérifié sur d'autres sujets les résultats fournis par l'inspection de son propre larynx : mais l'écueil qu'il a su éviter pourra faire échouer d'autres aussi bien doués et moins prudents : de telle sorte qu'en fin de compte on est en droit de se demander si un travail fait dans de telles conditions d'exception peut faire autorité dans la science.

L'homme sain qui parle peut encore être un profitable sujet d'études pour le physiologiste. Il existe un procédé de manuélisation laryngée, qui aidant ou entravant par des manœuvres externes le jeu des muscles du larynx, donne d'intéressants résultats, et souvent

même fournit une démonstration parfaite de tel ou tel mouvement resté jusque-là à l'état d'hypothèse. Le défaut de cette méthode, grandement prônée par Michael et Jelenffy, c'est de n'être guère applicable qu'au muscle crico-thyroïdien ; mais, toute restreinte qu'elle soit, elle donne des résultats d'une netteté telle, qu'on explique parfaitement l'engouement dont elle a été l'objet de la part des physiologistes allemands dans ces dernières années. Seulement je répéterai ici ce que j'ai dit plus haut de l'exploration laryngoscopique : que c'est là une méthode de vérification sûre, mais incapable de former les bases premières d'une théorie.

2° L'animal

C'est l'application au larynx de la méthode classique de vivisection; c'est le procédé le plus anciennement mis en pratique et surtout illustré par les recherches de Galien[1], Vésale[2], Riolan[3], Bidloo[4], Drelincourt[5], Haller[6], Sedillot[7], Magendie[8], Longet[9], Segond[10], etc. Presque tous ces travaux ont eu pour but de déterminer l'influence des nerfs sur les muscles du larynx, ils ont

1. Galien. *De Hippocratis et Platonis decretis*, lib. II, cap. 6. *De locis affectis*, lib. I, cap. 6. Venetiis, 1576.
2. Vésale. *De humani corporis fabrica*. Basileæ, 1555, p. 823.
3. Riolan. *Encheiridium anatomiæ*. Parisiis, 1562, p. 825.
4. Bidloo. *Exercitationes anatom. chirurg.* Lugd. Batav., 1708, p. 2.
5. Drelincourt. *Experim. anat.* Lugd. Batav., 1681, p. 11.
6. Haller. *Elem. Phys.*, t. III, p. 409.
7. Sedillot. *Thèse inaugurale*, n° 274, 1829.
8. Magendie. *Éléments de physiologie*, t. 1er, p. 294.
9. Longet. *Recherches expérimentales sur les fonctions des nerfs, des muscles du larynx, et sur l'influence du nerf accessoire de Willis dans la phonation*, in *Gazette méd. de Paris*, 24 juillet 1841.
10. Segond. *Recherches expérimentales sur la phonation* in *Arch. gén. de médecine*, 1849, 4e série. t. XX, p. 195 et 311.

établi d'une façon qui semble irréfutable les fonctions du récurrent et du nerf laryngé supérieur : mais ils ont fourni fort peu de notions sur la fonction phonatoire de la glotte considérée comme instrument vibrant. Même dans ces derniers temps les vivisections remarquables de Krause[1] et de Hooper[2] restent passibles de la même remarque, en ce sens qu'elles fournissent des données neuves et capitales sur les modes de l'innervation larygienne, mais ne tiennent aucun compte des phénomènes physiques de la phonation glottique. En cela tous ces maîtres ont grandement raison.

Jelenffy[3] développe les motifs qui lui font rejeter l'expérimentation sur l'animal pour l'étude des fonctions vocales de la glotte. Je me range pleinement à son avis, et dans le cas actuel je propose les objections suivantes contre la méthode de vivisection du larynx :

1° Chez les animaux, on peut étudier le son en lui-même, c'est-à-dire un ton donné, mais non point l'ascension ou la descente du son qui constitue la gamme.

Car, d'une part, il est impossible de faire faire une gamme à un chien comme à un chanteur sur qui on expérimente.

Et, d'autre part, pour tenir un son filé, il faut un grand effort de volonté qu'on ne peut inculquer au chien; de telle sorte que si, dans le cours d'une expérience il se produit une modification vocale, il est

1. Krause. *Ueber die Beziehungen der Grosshirnrinde zu Kehlkopf und Rachen*, in *Berliner Akad. Sitzungsber. phys. math. Klasse*, 1882, 1er novembre, et *Arch. für Anatomie und Physiologie* de Du Bois-Reymond. Leipzig, 1884, n° 3.

2. Hooper. *La fonction respiratoire du larynx humain*, in *Ann. des maladies de l'oreille, du larynx, etc.*, t. XI, 1885, p. 183.

3. Jelenffy. *Der musculus crico-thyreoideus, loc. cit.*

souvent impossible de savoir si elle résulte d'une manœuvre de l'expérimentateur ou simplement de la volonté de l'animal.

2° Puis — et ici j'ai surtout en vue les expériences de Segond — il est difficile de comparer absolument l'aboiement et le pleurer d'un chien, ou le ronron et le miaulement du chat, aux deux registres de poitrine et de fausset de la voix humaine; d'autant plus que le larynx des animaux ne ressemble pas à celui de l'homme, l'organe vocal étant de tous les appareils un de ceux qui subissent les plus fortes transformations en passant d'une espèce à une autre. Cependant je sais qu'on ne manquera pas de me dire que quoique aucun animal ne soit bâti sur le modèle exact de l'homme, cela n'empêche que toutes les grandes lois de la physiologie aient été déduites de vivisections d'organismes souvent très distincts du notre, et que la méthode qui a fourni de si beaux résultats pour le cœur, le pancréas, le foie, ne peut être que profitable au larynx. Aussi bien je pense que des expériences de ce genre peuvent être dans l'espèce d'une utilité grande : et plus loin je ferai des emprunts à ce procédé. Et malgré tout, je prétends qu'il y a une méthode qui bien mieux que la vivisection peut servir à établir les lois de la phonation.

3° Le larynx artificiel

Je me bornerai à rappeler que les tuyaux à anches membraneuses de Mueller [1] inaugurèrent ce genre de

1. J. Mueller. *Manuel de physiologie*, traduction Jourdan, t. II, 1845.

de recherches, et que, plus tard, les larynx artificiels de Harless et de Fournié furent construits dans une même intention. Plus récemment Spitta [1] présenta à la Société royale médico-chirurgicale de Londres un appareil métallique figurant le larynx avec des muscles en caoutchouc. Enfin il faut signaler l'instrument qu'a construit Koschlakoff [2], dans le but d'analyser la polyphonie dans les enrouements.

[Je m'empresse de dire que je ne fais ici aucune allusion à ces appareils de prothèse laryngée, destinés à rendre une voix artificielle aux malades, rendus aphones par l'extirpation chirurgicale du larynx.]

Tous ces larynx artificiels sont d'excellents instruments de démonstration : mais il me semble qu'à vouloir s'en servir comme appareils de recherche et d'expérimentation on risque fort de faire une pétition de principe.

En effet, chaque auteur construit son larynx artificiel d'après les lois du larynx provisoirement supposées connues; puis, à l'aide de cet instrument, né d'une hypothèse, mais devenu, pour les besoins de la cause, base de raisonnements, il tente de démontrer ces mêmes lois laryngées : malgré l'intervention de ce terme intermédiaire — le larynx artificiel — il n'en est pas moins vrai que, dans le cas actuel, on se contente, pour démontrer une théorie de la phonation, de supposer tout d'abord qu'elle est démontrée. C'est un raisonnement analogue à celui-ci : « Je suppose que

1. Spitta. *The Lancet*, 30 octobre 1875.

2. Koschlakoff. *Die Kunstliche Reproduction und graphische Darstellung der Stimme und ihrer Anomalien*, in *Archiv f. die gesammte Phys. des Menschen und der Thiere*. Bonn, 1884, t. XXXIV, p. 38.

vous soyez mon père. Alors je suis votre fils. Donc vous êtes mon père. »

Et franchement, croit-on qu'il y ait analogie absolue entre deux membranes de caoutchouc simplement tendues au bout d'un tube de verre et le larynx si compliqué de l'homme? Mueller, dont on ne saurait trop, en cette matière, admirer la prudence, ne considère ses recherches sur les anches membraneuses que comme une simple introduction à l'étude de l'anche humaine ; et maintes fois, au cours de ses expériences, il avoue que les résultats fournis par les larynx de cadavres s'écartent notablement des lois qu'il avait formulées pour les anches artificielles.

4° Le cadavre

Détacher un larynx du corps, mettre la glotte en position vocale en imitant artificiellement l'action d'ensemble des muscles laryngés, puis la faire parler par le passage d'un courant d'air, constitue, à mon avis, le meilleur mode d'étude de la phonation.

Au reste, à deux époques différentes, espacées de près d'un siècle, deux théories marquèrent, l'une la rénovation, l'autre la fixation définitive de la physiologie vocale dans ses grandes lignes : or, et ceci est un fait digne de remarque, toutes deux, analogues d'origines et de résultats, étaient déduites d'expériences pratiquées sur le larynx de cadavre : c'est à Ferrein, puis à Mueller que la science est redevable de ce progrès.

On sait, car on les lit dans tous les livres de physio-

logie, les tentatives de Ferrein[1] pour faire parler un larynx séparé du corps, bien que Dodart[2] eût assuré « qu'on ne pouvait rendre l'organe de la voix visible en action ni le faire sonner quand il n'est plus animé par le principe de la vie (Ferrein, *loc. cit.*, p. 426) », et sa joie, quand il raconte que, tandis qu'il rapprochait les lèvres de la glotte et soufflait fortement dans la trachée-artère, « à ce coup l'organe parut s'animer et fit entendre, je ne dis pas seulement un son, mais une voix éclatante plus agréable pour moi que les concerts les plus touchants ».

Mueller reprit les expériences de Ferrein, les compléta, les accommoda au goût d'une physiologie plus avancée et plus positive : il ne put que confirmer les faits fondamentaux annoncés par le chirurgien français, mais il apporta dans ses expériences une clarté et une précision telles qu'aucune des théories récentes nées de l'examen laryngoscopique et de l'expérimentation sur les animaux ne peut se soutenir si elle ne s'accorde avec la sienne.

Cependant, malgré les merveilleux résultats émanés des expériences de Ferrein, de Liscovius, de Merkel et surtout de Mueller, il s'est trouvé des physiologistes qui, rééditant le scepticisme de Dodart, ont avancé que toutes ces recherches ont une valeur au moins contestable, attendu que les tissus d'un larynx mort ne sont plus dans les mêmes conditions de vibration que ceux du larynx vivant ; et que, quelque imitation

1. Ferrein. *De la formation de la voix de l'homme*, in *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1741, p. 405.

2. Dodart. *Mémoire sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons*, in *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1700, p. 244 ; — 1706, p. 136 ; — 1707, p. 66.

approximative qu'on obtienne du jeu musculaire vocal, on ne produira jamais qu'une reproduction imparfaite de l'action de certains muscles, si bien que le larynx que l'on fait ainsi parler est dans un état de passivité absolue nullement comparable à l'activité vocale d'une glotte saine.

Il est aisé de répondre à ces objections.

A. — D'abord il est évident qu'un larynx mort n'a pas conscience qu'il parle, de même qu'un œil de cadavre regarde sans voir. Je m'explique. Dans un œil fraîchement séparé, dont les milieux ont conservé leur parfaite intégrité, les rayons lumineux se réfractent sans gêne, et l'image des objets va se faire plus ou moins nette, suivant leur situation sur la rétine : il n'y a donc rien de changé dans cet œil mort, sauf que l'image rétinienne n'est plus perçue par le cerveau. Il en est de même pour l'organe de la voix. Du moment que les tissus vibrants ne sont point altérés par la putréfaction cadavérique, si artificiellement on produit le degré de tension des cordes vocales et d'occlusion glottique nécessaire à la formation de la voix, en d'autres termes si on met le larynx en position vocale, si on l'*accommode*, tout courant d'air suffisant pour mettre la glotte en vibration le fera parler, sans se préoccuper de savoir si cette accommodation vocale est obtenue par la volonté des muscles vivants ou par l'artifice de l'expérimentateur. Ainsi donc un larynx accommodé en position vocale n'est plus qu'un passif instrument de musique qui, en présence d'un courant d'air, se comporte avec autant de fatalité qu'une anche de hautbois. Je me servirai plus tard de cette donnée qu'un larynx accommodé présente la passivité d'un

instrument quelconque, pour démontrer que dans l'aphonie hystérique, il *doit* toujours y avoir une altération du larynx, paralysie ou spasme. Pour le moment, il me suffit de faire remarquer que les phénomènes physiques de la phonation sont identiquement les mêmes, que le larynx ait été accommodé vivant par son propriétaire ou mort par son expérimentateur.

B. — Et pourquoi, après tout, un larynx mort ne parlerait-il pas comme un larynx vivant? pourquoi, du moment qu'il n'est plus animé du principe de vie, dire comme Dodart qu'il cesse d'obéir aux lois des vibrations des corps?

1° D'abord il est un fait hors de toute contestation, c'est que le larynx mort, quand il est convenablement préparé, parle avec la plus grande facilité; que, par simple modification de la tension des cordes vocales il peut fournir une gamme de quinze notes; et qu'enfin suivant les circonstances il donne deux ordres de sons bien nets, différents de timbre et de hauteur, les uns anchés, les autres flutés, les uns mordants, les autres doux, auxquels chacun donnera les noms qu'il voudra, mais que je suis parfaitement en droit de comparer aux registres de poitrine et de tête : cette opinion est au moins aussi soutenable que celle de Segond, qui assimilait les divers cris des animaux aux registres de la voix humaine, d'autant mieux que j'opère ici sur des larynx humains, et que je n'ai pas besoin de faire précéder mes comparaisons vocales d'analogies anatomiques plus ou moins forcées selon les besoins de la cause. Et quant aux quinze notes que me fournit un larynx de cadavre, pris le premier venu au hasard, je suis tout à fait désolé d'y trouver une contradiction

expérimentale des enseignements de Fournié[1], qui sur une anche élastique n'a pu obtenir que cinq à six notes consécutives en n'employant que la tension des rubans (ce qui me paraît surtout prouver que la glotte vivante ressemble plus à la glotte morte qu'à deux morceaux de caoutchouc); mais je suis ici absolument d'accord avec Mueller qui a fait rendre à tous les larynx qu'il a employés des notes hautes qu'ils n'avaient certainement jamais dû donner pendant leur existence. Ainsi presque tous les larynx de femmes que j'ai pris au hasard sur les cadavres de l'hôpital Beaujon m'ont chanté le fa_5, note qu'en ce temps-ci ne donnent guère que la Patti et la Nilsson.

2° Puis, au point de vue physique, les expériences cadavériques ont cet avantage de respecter la nature des tissus vibrants de l'anche vocale qui, vivante ou morte, conserve en définitive la même structure, tandis qu'elle diffère absolument d'une lamelle de caoutchouc ou de métal. Il est certain, à mon sens, que cet argument est d'une grande puissance, car normalement les vibrations de la glotte sont modifiées par des nœuds qui divisent les cordes vocales dans le sens transversal suivant la différence de densité des tissus qui les composent; et où trouverons-nous, je le demande, l'analogue de ces stratifications dans les lamelles élastiques? Si l'on veut en tenir compte, il faut, comme l'a fait Koschlakoff, tendre sur les membranes élastiques des fils longitudinaux parallèles à leur bord libre et qui imitent ainsi à peu près les divisions nodales que les différents tissus des cordes vocales produisent

1. E. Fournié. *Physiologie de la voix et de la parole*. Paris, 1886, p. 406.

naturellement. Du reste, — et ici l'évidence confine presque à la naïveté, — puisque les cordes vocales vibrent chez le cadavre, il y a toutes raisons de supposer qu'elles vibrent de la même façon que chez le vivant et non d'une autre.

De sorte que, ni au point de vue de l'étendue des sons qu'elle fournit, ni au point de vue de la façon dont elle les produit, l'expérimentation cadavérique ne mérite les reproches que les laryngologistes lui adressent.

3° Enfin, on peut parfaitement chez le cadavre reproduire le jeu des muscles du larynx, et ce ne sont point les procédés qui manquent pour cela ; on peut le faire mécaniquement, on peut le faire électriquement.

a. Il est en physiologie une méthode simple, fort usitée des anciens anatomistes, qu'on ne néglige pas de nos jours et qui consiste à déduire, par raisonnement, du point d'insertion des muscles et de la direction de leurs fibres, leur action ordinaire ; c'est une méthode que Jelenffy a merveilleusement su utiliser pour l'analyse des actions du muscle crico-thyroïdien, dans un mémoire qui restera comme un modèle du genre. Les renseignements qu'elle fournit ne sont erronés qu'autant que les points d'insertion ont été mal délimités ou les faisceaux musculaires faussement orientés. Malheureusement c'est là un des écueils qu'on a le moins évités ; et je crois que si la physiologie du muscle thyro-aryténoïdien est encore si obscure, c'est parce que Garcia, Bataille et autres en ont singulièrement compliqué la description anatomique.

C'est ainsi que Ruehlmann[1], dans une très intéressante compilation, attribue au larynx plus de trente muscles donnant naissance à une foule de faisceaux secondaires : dans ces cas la méthode anatomique mène à des résultats fâcheux. Mais pour qui considère les muscles du larynx d'une façon suffisamment attentive, cette *méthode dynamique raisonnée* est d'un grand avantage.

b. Ailleurs, j'ai montré que les manipulations externes des cartilages du larynx donnent de bons résultats dans l'étude des mouvements musculaires, attendu que le jeu d'un muscle est parfaitement mis en évidence par une traction ou une pression qui l'aide ou le contrarie. Or, si cette *méthode dynamique appliquée* donne de bons résultats quand on agit sur le larynx à travers les tissus mous du cou, à plus forte raison doit-elle être d'un avantage réel quand le larynx isolé et disséqué se présente sans interposition d'aucune paroi qui le masque. Ici l'action est très facile à produire, le mouvement qui en résulte saute immédiatement aux yeux; et on a sur le muscle en expérience le contrôle excellent du contact immédiat et de la vue directe. Cela est d'ailleurs un lieu commun qui ne demande pas de développement.

c. Enfin l'électrisation directe est évidemment le meilleur mode d'étude des mouvements du larynx. Mais n'est-ce pas une utopie que de supposer qu'on puisse chez le vivant électriser isolément chacun des muscles laryngés ? Et en admettant cette dissocia-

1. Ruehlmann. *Untersuchungen ueber das Zusammenwirken der Muskeln bei einigen häufiger Vorkommenden Kehlkopfstellungen*, in *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. — Math., Natur., Klasse;* 1874. 3ᵉ Abth., Bd. LXIX, p. 257.

tion comme possible, le laryngoscope en fournit-il un moyen de constatation suffisant ? Il est autrement simple et pratique d'électriser chez les animaux les muscles du larynx au moment où ils viennent d'être mis à nu; mais dans ce cas, pour que les expériences aient quelque chance de vérité, il faut supposer absolue l'analogie anatomique entre les larynx d'animaux et celui de l'homme, alors qu'elle n'est que douteuse. La question qui se pose est donc de savoir s'il existe un mode pratique d'étude électrique des muscles du larynx, attendu que jusqu'ici, chez l'homme vivant, ce procédé est d'une application presque impossible, et, chez l'animal, d'une exactitude au moins contestable? Or, grâce aux matériaux qui m'ont été fournis par la dernière épidémie de choléra, je pense la résoudre par l'affirmative, et je renvoie le lecteur aux expériences que je rapporte plus loin et qui forment l'un des côtés les plus neufs, sinon inédits, de cette thèse.

De ces quatre modes d'étude expérimentale de la phonation, pour les motifs exposés plus haut, j'ai choisi le dernier ; je me suis aidé parfois de l'expéri mentation sur l'animal vivant, mais seulement pour élucider les points sur lesquels les recherches cadavériques ne me fournissaient aucun renseignement : enfin je n'ai pas négligé l'examen laryngoscopique, que je ne considère toutefois que comme un procédé de vérification de faits vocaux déjà établis.

L'examen des malades aphones aurait pu me fournir d'excellentes notions : mais je ne dois pas laisser oublier que tout ce long préambule physiologique est la base sur lequel je compte édifier les différentes

théories physiques et physiologiques des dysphonies : et je ne puis, sans commettre la pétition de principe chère aux inventeurs de larynx artificiels, me servir, pour appuyer mes démonstrations, de faits que le but de ces démonstrations est précisément d'établir.

CHAPITRE II

EXPÉRIENCES SUR DES LARYNX DÉTACHÉS

I. — INSTALLATION DU LARYNX

Mes recherches ont porté sur une trentaine de larynx enlevés à des sujets qui pendant leur vie n'avaient présenté aucune altération de la voix; faites en général dans les deux ou trois jours qui suivaient la mort, elles ne laissaient point aux cordes vocales le temps de subir quelque altération cadavérique capable de modifier la nature des tissus vibrants.

Les larynx d'homme ou de femme ont été indistinctement employés; les larynx de femme fournissaient beaucoup plus facilement la voix de tête, ce qui est d'accord avec les enseignements journaliers du chant; les larynx d'homme se prêtaient mieux à l'étude de la tension ligamenteuse et des modifications de la gamme.

Mais, indépendamment de la question de sexe, il y a eu des larynx qui, quoique préparés et traités de la même façon que les autres, ne m'ont donné aucun

résultat utilisable, sans que j'aie pu déterminer la cause immédiate de leur indifférence expérimentale. Je signale ce fait pour qu'aucune personne tentée de de reproduire ces expériences, au cas où elle rencontrerait du premier coup un de ces organes ainsi réfractaires, ne se hâte trop de s'inscrire en faux contre les conclusions de ce travail.

J'ai adopté, presque sans la modifier, l'installation recommandée par Mueller. Voici en quoi elle consiste.

Par une dissection rapide, le larynx est bien séparé de toutes les parties molles qui l'entourent, et émondé le mieux possible, mais avec cette précaution que les ligaments qui unissent les différents cartilages doivent rester dans un état d'intégrité parfaite, attendu que leur rôle est important dans la composition des forces qui tendent ou relâchent la glotte. On résèque ensuite toutes les parties sus-glottiques : épiglotte, cordes vocales supérieures, ventricules, et on abrase toute la partie supérieure du cartilage thyroïde jusqu'à un plan horizontal passant à quelques millimètres au-dessus du niveau de l'insertion antérieure des vraies cordes vocales; la difficulté consiste, quand on excise les ventricules, à laisser absolument intacte leur paroi inférieure pour n'altérer en rien la conformation du muscle thyro-aryténoïdien interne.

Reste à imiter le jeu de chacun des muscles qui concourent à la mise en action vocale de la glotte.

Il n'y a aucun inconvénient, au point de vue pratique actuel, à considérer le muscle crico-thyroïdien comme abaissant le thyroïde vers le cricoïde, bien que, en théorie, ce soit faux, attendu que normalement

c'est le cricoïde qui s'élève au-devant du thyroïde immobilisé; mais, que le rapprochement antérieur des deux cartilages se fasse d'une façon ou d'une autre, il n'en aboutit pas moins dans les deux cas au même résultat : la tension des cordes vocales. On peut donc représenter l'action du crico-thyroïdien par un fil attaché à l'angle du cartilage thyroïde au niveau du point d'insertion antérieur des deux cordes vocales, qu'on laisse pendre verticalement, et auquel on suspend un petit plateau susceptible de porter des poids qui doivent faire varier la tension glottique. Du même point part un autre fil qui se dirige horizontalement en arrière, et simule l'action du thyro-aryténoïdien : ce fil peut être tendu de la même façon que le précédent, à condition qu'on le réfléchisse à angle droit sur une petite poulie.

Le point le plus essentiel de cette installation est d'arriver à reproduire l'immobilisation absolue des articulations crico-aryténoïdiennes, obtenue dans la vie par la contraction combinée de tous les muscles péri-aryténoïdiens et sans laquelle toute contraction du crico-thyroïdien reste sans action sur la tension des cordes vocales.

Pour cela, les cartilages aryténoïdes, étant traversés par une broche horizontale, sont rapprochés et maintenus intimement unis à l'aide d'une ligature en 8 qui d'autre part va s'attacher à une planchette mobile sur laquelle elle fixe le larynx : ainsi est assurée l'immobilisation transversale de ces cartilages. Pour maintenir leur fixité dans le sens antéro-postérieur, il faut user d'un petit artifice : normalement, dans l'acte de la phonation, les aryténoïdes sont si intime-

ment maintenus en contact du cricoïde, que ces cartilages ne forment qu'un levier unique coudé à angle droit, et qui se meut tout d'une pièce sous l'influence des contractions des muscles antérieurs; sur le cadavre, on ne peut reproduire directement cette adhérence absolue des deux cartilages, mais il est aisé de l'obtenir indirectement, en attachant le chaton du cricoïde à la planchette sur laquelle sont déjà fixés les aryténoïdes; de sorte qu'en définitive l'appareil laryngien sur lequel on expérimente ne se compose plus que de deux parties mobiles l'une sur l'autre : l'une formée par le thyroïde, l'autre constituée par le système combiné de la planchette, du cricoïde, et des aryténoïdes immobilisés entre eux.

La trachée est intimement fixée à un tube de caoutchouc, de même calibre qu'elle : mais au lieu de faire communiquer ce tube avec une soufflerie, j'y adapte une embouchure dans laquelle je souffle directement. A cela je trouve deux avantages :

1° Que l'air expiré par mes poumons, étant dans les conditions d'hygrométrie normale, ne dessèche pas les cordes vocales, tandis que le courant d'air d'une soufflerie les met rapidement hors d'état de servir;

2° Qu'en opérant ainsi, je me rapproche au mieux des conditions normales, que je gradue et dirige l'effort de mon expiration à ma volonté; de telle sorte que, par l'intermédiaire de ce tube de caoutchouc, il semble que ma propre trachée se soit considérablement allongée, et que le larynx préparé ait pris le lieu et la place du mien : comment imaginer une meilleure installation expérimentale, puisque j'ai en

main un larynx humain, mis en vibration par des poumons vivants, les miens?

Dans mes premières expériences, j'avais adapté à cette trachée de caoutchouc un petit manomètre à mercure, destiné à mesurer la tension de l'air sous-glottique; mais j'ai ensuite supprimé cette complication qui ne m'était d'aucune utilité, attendu que je ne m'occupe point ici de mesurer la pression sous-glottique : je renvoie pour cela aux travaux connus de Cagniard-Latour[1], Mueller[2], et Guillet[3].

II. — DE L'OCCLUSION DE LA GLOTTE

EXPÉRIENCE I. — *La glotte postérieure étant ouverte, dans toute sa largeur, aucun son ne peut être obtenu quelles que soient la tension des cordes vocales et la pression de l'air.*

Mueller est moins absolu dans ses conclusions; il dit : « Les cordes vocales parlent surtout avec facilité, quand la partie postérieure de la glotte, entre les cartilages aryténoïdes, est fermée. » Mais il est au moins bizarre que Harless[4] ait pu conclure de ses expériences cadavériques, que la glotte inter-aryténoïdienne reste toujours ouverte pendant la phonation, et qu'elle sert

1. Cagniard-Latour. *Sur la pression à laquelle l'air contenu dans la trachée se trouve soumis pendant l'acte de la phonation* in *Compte rendus de l'Acad. des sciences*, t. IV, 1837.

2. Mueller. *Loc. cit.*

3. Guillet. *Mémoire sur la mesure des quantités d'air dépensé pour la production des sons de la voix*, in *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XLIV, 1857, p. 146.

4. Harless. Art. STIMME, in *Wagners Handwörterbuch der Physiologie*, Bd IV.

à régulariser le courant d'air expiré, afin de maintenir la hauteur du son toujours au même point.

EXPÉRIENCE II. — *La tension glottique et la pression aérienne restant les mêmes, le son se produit dès que les apophyses vocales viennent en contact.*

EXPÉRIENCE III. — *Lorsque les apophyses vocales sont simplement très rapprochées mais non accolées, un certain nombre de notes graves peuvent être émises, pourvu que la largeur de la glotte inter-aryténoïdienne ne dépasse pas un millimètre.*

Tel est aussi l'avis de Mueller qui ne considère pas l'occlusion de la glotte postérieure comme un cas d'absolue nécessité, et admet, sans donner de détails plus précis, que la voix peut se faire entendre pourvu que l'ouverture inter-aryténoïdienne reste assez étroite.

III. — DE LA PRODUCTION DE LA VOIX DE TÊTE OU DE FAUSSET

EXPÉRIENCE IV. — *Le larynx étant en position vocale c'est-à-dire la glotte postérieure étant fermée et les cordes inférieures moyennement tendues, le courant d'air passant à travers la glotte lui fait successivement prendre les aspects suivants :*

D'abord l'air sort silencieusement, produit une tension transversale qui bombe les cordes vocales et dilate la glotte laquelle prend l'aspect de la figure 2. Aussitôt on voit deux membranes grises se détacher de chaque

côté des lèvres glottiques, et venir vibrer dans la lumière de la glotte qu'elles rétrécissent : à cet instant précis le son se produit. Ces deux lèvres vibrantes

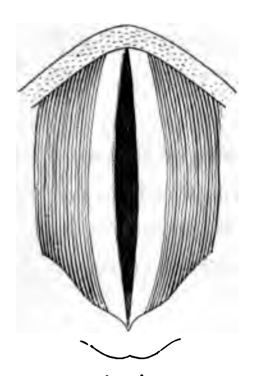


Fig. 1.
Glotte au repos.

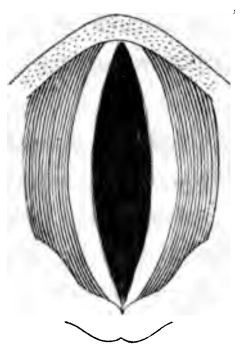


Fig. 2.
Glotte dilatée par l'air au moment où le son va se produire.

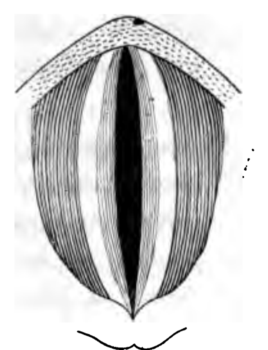


Fig. 3.
Glotte au moment où le son se produit. (On voit la muqueuse se séparer des cordes vocales et venir vibrer dans la lumière de la glotte.)

sont constituées par la muqueuse : jamais elles n'arrivent à se toucher et laissent entre elles un espace fusiforme vide (Fig. 3).

EXPÉRIENCE V. — *Si l'on vient alors à piquer avec une aiguille la partie vibrante, on ne traverse que la membrane muqueuse.*

Martel[1] fait une expérience analogue. En faisant parler un larynx frais, il voit la muqueuse se plisser (?) sous l'influence du courant d'air et venir vibrer dans

1. Martel. *Physiologie de la phonation*, in *Revue bibliographique universelle des sciences médicales*, t. II, n° 13, 31 janvier 1885.

l'ouverture glottique; et en piquant avec une aiguille la partie vibrante, il n'atteint jamais le muscle.

EPÉRIENCE VI. — *Si avec un fin bistouri on enlève délicatement toute la muqueuse, le larynx devient aphone dans les circonstances actuelles.*

Fournié[1] avait eu la même idée que moi. « Pour rendre le phénomène plus démonstratif, dit-il, nous avons eu la pensée d'enlever toute la muqueuse. Après une dissection longue et difficile, nous y sommes parvenu, et, en employant les mêmes moyens que précédemment, nous n'avons pu réussir à obtenir un son; le souffle sortait à travers la fente glottique en produisant un certain bruissement, mais nous n'avons pu constater la plus légère vibration dans les rubans vocaux. Cette expérience, à elle seule, peut démontrer l'action exclusive de la muqueuse dans les vibrations qui font le son de la voix. »

Le tort de Fournié est d'avoir généralisé cette loi qui n'est vraie que dans les circonstances particulières de l'expérimentation présente.

EXPÉRIENCE VII. — *Le larynx est laissé vingt-quatre heures à l'air libre de façon que les cordes vocales commencent à subir une légère dessiccation. Si l'on vient alors à souffler dans la trachée, quelque forte que soit la tension aérienne, la glotte se laisse dilater mais demeure absolument silencieuse; car la muqueuse agglutinée, par suite de cette dessiccation, à la corde ligamenteuse, ne peut plus s'en détacher pour venir vibrer dans l'espace glottique.*

1. E. Fournié. *Physiologie de la voix et de la parole.* Paris, 1866, p. 385.

Cette expérience, que je n'ai trouvée relatée dans aucun travail de physiologie expérimentale donne la clef de bien des symptômes dysphoniques observés au cours des inflammations du larynx.

EXPÉRIENCE VIII. — *Au cours de l'expérience, on peut toucher la partie musculaire et même la partie ligamenteuse de la corde vocale sans aucunement altérer le son émis par la glotte; mais dès qu'on vient en contact de la membrane grise vibrante, on étouffe la voix.*

EXPÉRIENCE IX. — *On place un point noir sur la partie blanche ligamenteuse de la corde vocale, et on fait parler la glotte; ce point noir reste absolument immobile malgré les vibrations vocales.*

Ces deux expériences démontrent clairement que ni la portion musculaire, ni la couche ligamenteuse des cordes vocales ne participent actuellement à la formation du son.

EXPÉRIENCE X. — *Tandis que la glotte parle, on introduit la pointe d'un stylet dans l'espace fusiforme qui sépare les deux membranes vibrantes; il n'en résulte aucune altération du son.*

Ce qui prouve que, à ce moment, les cordes vocales ne viennent point en contact.

Remarque. — Le son ainsi obtenu a un caractère doux et flûté.

Il constitue la *voix de tête* ou de *fausset*.

Il est surtout facile à produire sur un larynx de femme.

IV. — DE LA PRODUCTION DE LA VOIX DE POITRINE

EXPÉRIENCE XI. — *Si, sans rien changer à l'expérience, tandis qu'on continue à souffler avec la même force, on vient à appuyer de chaque côté de la glotte les mors d'une pince en* T, *en exerçant une légère pression de dehors en dedans, et surtout en ayant soin de se placer sur la limite exacte de séparation de la couche musculaire et de la couche fibreuse, frontière facile à voir par transparence, le son se modifie dans son timbre, dans sa hauteur.*

En cela je suis absolument d'accord avec Mueller[1], qui nous dit :

« Pour produire la voix de poitrine, dans laquelle la largeur entière des cordes vocales et toutes les parties environnantes vibrent violemment, et pour exclure la voie de fausset, dans laquelle les cordes ne vibrent que par leur bord seulement, il faut nécessairement que les ligaments de la glotte éprouvent une compression latérale que le muscle thyro-aryténoïdien exécute pendant la vie, mais qu'on opère sur un larynx préparé à l'aide des branches d'une paire de pinces. Dans les expériences simples, une compression latérale légère suffit pour produire le registre de la voix de poitrine sur le larynx détaché du corps. »

1. Mueller. *Loc. cit.*, p. 222.

EXPÉRIENCE XII. — *Le son ainsi produit a un timbre mordant, mieux anché et plus sonore.*

EXPÉRIENCE XIII. — *En même temps le son devient plus grave. La force de la soufflerie restant la même, l'abaissement de ton pour une note du médium varie d'une* TIERCE *à une* QUARTE.

Il faut ici bien se garder d'une petite faute opératoire, grosse de conséquences. Si l'on appuie trop fortement de haut en bas les mors de la pince on accroît la tension des cordes, et le son, au lieu de baisser, s'élève au contraire, tout en gardant son timbre anché.

Tous les larynx donnent aisément les deux séries de sons anchés et flûtés; mais leur différence de hauteur respective pour une même position de la glotte est fort difficile à apprécier, surtout à cause des nœuds de vibrations qui se produisent avec la plus grande facilité et souvent font octavier les cordes vocales.

EXPÉRIENCE XIV. — *Le larynx parlant en voix de fausset, si l'on applique la pince comme il vient d'être dit, on observe les changements suivants dans l'état de la glotte :*

A. — *Les oscillations vibratoires prennent une amplitude beaucoup plus grande et deviennent très visibles à l'œil nu (d'où intensité plus grande du son).*

B. — *L'espace fusiforme central se réduit considérablement, et les bords des deux cordes vocales viennent presque à se toucher en vibrant.*

C. — *Il est facile de voir que les oscillations sont d'au-*

tant plus étendues qu'on les observe plus près de l'axe de la glotte; et qu'en dehors les vibrations s'éteignent et cessent là où commence le tissu musculaire.

EXPÉRIENCE XV. — *Si l'on vient à piquer avec une aiguille la zone vibrante à sa partie moyenne, on traverse les couches muqueuse et fibreuse, mais non le muscle.*

Dans ses oscillations, la corde fibreuse entraîne avec elle la muqueuse; il est possible qu'alors ces deux couches se séparent, vibrent chacune pour son compte, et que le son produit soit la combinaison de ces deux séries de vibrations; mais rien ne le démontre expérimentalement; et, dans le cas actuel, cette analyse n'est d'aucune utilité.

EXPÉRIENCE XVI. — *Si, avec un bistouri, on enlève la muqueuse des cordes vocales, opération qui, on le sait, fait disparaître les sons de fausset, le larynx, mis en vibration sous la pression de la pince, continue néanmoins à fournir des sons anchés, seulement atténués dans leur intensité. Qu'on vienne à enlever la pince et qu'on continue à souffler, on ne produit plus aucun son.*

Donc un larynx à qui on a enlevé la muqueuse vocale peut fournir encore des sons anchés, mais ne donne plus de sons de fausset.

EXPÉRIENCE XVII. — *Si l'on enlève la couche ligamenteuse des cordes vocales, en laissant intact le*

muscle thyro-aryténoïdien, le larynx devient complètement aphone, quel que soit le procédé employé pour le mettre en vibration.

Il n'est pas nécessaire de décortiquer entièrement le muscle thyro-aryténoïdien, on arrive au même résultat en se contentant de sectionner en son milieu le plan fibreux, de côté et d'autre de la glotte; mais pour que cette expérience réussisse, il importe de ne pas limiter la section transversale au bord de la glotte, mais de l'étendre à la couche aponévrotique qui se prolonge à la région sous-glottique, et qui, laissée intacte, pourrait produire un son sourd sous l'influence du courant d'air.

Remarque. — Cette expérience prête aisément le flanc à la critique; on ne manquera pas de dire qu'ici le muscle ne vibre pas parce qu'il est mort et flasque; que chez le vivant, où il se contracte activement, les conditions sont tout autres : et qu'une expérience établie dans des circonstances aussi différentes de l'état physiologique normal ne peut avoir aucune autorité. C'est pour réfuter cette objection que j'ai institué sur le chien les expériences que je rapporte plus loin.

EXPÉRIENCE XVIII. — *Pendant que le larynx parle sous la pince, on peut impunément toucher la partie musculaire des cordes vocales; mais si l'on vient à rencontrer la partie ligamenteuse, le son se trouble, il se produit des nœuds de vibrations qui en modifient la hauteur; et si l'on touche une seule corde vocale, on cause de la diphthonie.*

Je me garderai bien d'effleurer ici les questions si obscures de la diphthonie et de la voix avec une seule corde vocale : Mueller, Merkel ont fait sur ce point les recherches expérimentales les plus compliquées, sans avoir pu en déduire une loi simple et claire.

EXPÉRIENCE XIX. — *Le point noir, placé sur la partie blanche de la corde vocale, qui tout à l'heure restait immobile pendant la production du son de fausset, maintenant oscille pendant la vibration vocale.*

Remarque. — Ces sons anchés constituent évidemment la voix de poitrine.

Ils sont surtout faciles à produire sur le larynx d'hommes.

V. — DES VARIATIONS DE HAUTEURS DU SON PAR ACTION MUSCULAIRE

Il y a deux moyens de hausser le son, sans changer la tension de l'air :

A. — *Traction de haut en bas sur l'angle du cartilage thyroïde.*

B. — *Pression latérale de dehors en dedans sur les lames du thyroïde.*

Il y a un seul moyen de baisser le son :

A. — *Traction ou pression d'avant en arrière sur l'angle du thyroïde.*

Ces deux derniers moyens donnent de bons résultats et sont facilement applicables au vivant (Michael,

Jelenffy) ; ils forment la base d'une méthode de manipulation externe du larynx dont j'ai déjà parlé.

EXPÉRIENCE XX. — *Le larynx étant en position d'équilibre vocal, et émettant un son donné, la traction verticale exercée de haut en bas sur l'angle du thyroïde peut élever ce son d'environ dix notes.*

Soit un larynx de femme donnant en position d'équilibre de fausset la note UT_4, *la traction verticale plus forte lui fait produire le* FA_5.

Soit un larynx d'homme donnant en position d'équilibre de poitrine le MI_2; *la traction verticale l'amène à produire le* LA_3.

Cette expérience est digne d'attention et mérite quelques explications. D'abord elle est en contradiction absolue avec l'enseignement de Fournié, qui nous dit que sur un larynx de cadavre la simple modification de la tension longitudinale produit au plus une gamme de quatre ou cinq notes : je n'ai d'autre réfutation à lui opposer que la constatation renouvelée plusieurs fois des faits que je rapporte.

Puis il y a lieu de se demander pourquoi l'étendue du chant vocal du larynx est en général beaucoup plus grande après la mort que pendant la vie. Or, en ne considérant ici que la contraction du muscle cricothyroïdien, qui d'ailleurs est seule en cause, il y a deux raisons pour que cette action soit accrue chez le cadavre :

1° Parce que ce muscle n'a plus à lutter contre le thyro-aryténoïdien dont on ne peut simultanément imiter les actions complexes : de sorte que sa contrac-

tion, au lieu d'être contrariée, se fait avec une aisance plus grande ;

2° Parce qu'en raison de son petit volume, ce muscle, à de rares exceptions près, n'a pas la puissance indéfiniment croissante de la série de poids par laquelle on remplace son action. C'est ainsi que, dans mes expériences, les larynx de femmes dépassent toujours l'UT_5 et atteignent souvent le FA_5.

Le tableau suivant, emprunté à Mueller, montre qu'en partant de la note LA_2 qui correspond à la position d'équilibre vocal d'un larynx mâle en voix de poitrine, on peut, par une simple augmentation de la tension en longueur produite par une addition croissante de poids, amener la glotte à fournir la note $RÉ_5$.

La note	$la\#_2$	est produite par la tension	d'un poids de	8	grammes.
—	si_2	—	—	16	—
—	ut_3	—	—	24	—
—	$ut\#_3$	—	—	32	—
—	$ré_3$	—	—	40	—
—	$ré\#_3$	—	—	45	—
—	mi_3	—	—	48	—
—	fa_3	—	—	56	—
—	$fa\#_3$	—	—	64	—
—	sol_3	—	—	72	—
—	$sol\#_3$	—	—	80	—
—	la_3	—	—	88	—
—	$la\#_3$	—	—	96	—
—	si_3	—	—	104	—
—	si_3-ut_4	—	—	112	—
—	*ut*	—	—	120	—
—	$ut\#_4$	—	—	128	—
—	$ré_4$	—	—	136	—
—	$ré\#_4$	—	—	155	—
—	mi_4	—	—	171	—
—	fa_4	—	—	187	—
—	$fa\#_4$	—	—	208	—
—	sol_4	—	—	248	—
—	$sol\#_4$	—	—	272	—
—	la_4	—	—	304	—
—	$la\#_4$	—	—	352	—
—	si_4	—	—	400	—

La note	ut_5	est produite par la tension d'un poids de		448	grammes.
—	$ut\sharp_5$	—	—	472	—
—	$ré_5$	—	—	560	—
—	$ré\sharp_5$	—	—	592	—

Plus de son.

Cette note RÉ$_5$ est de près d'une octave plus élevée que les plus hauts sons de poitrine de nos grands ténors. Mais où trouver un muscle crico-thyroïdien qui possède une force de près de 900 grammes?

Peut-être sera-t-on choqué du fait que ces expériences s'écartent notablement des phénomènes ordinaires de la phonation chez le vivant, mais je tiens à déclarer qu'à mon sens la *hauteur absolue* des notes a peu de signification chez le cadavre, modifiée qu'elle est par une foule de circonstances nouvelles et accessoires; ce dont il importe uniquement de tenir compte, c'est la *hauteur relative* des notes extrêmes émises par un même larynx, c'est l'espace qui les sépare et qui mesure l'étendue du champ vocal.

EXPÉRIENCE XXI. — *Quand on appuie latéralement, de dehors en dedans sur les lames du thyroïde, le son peut monter d'environ une tierce.*

J'indiquerai plus loin l'explication ingénieuse et vraie que Jelenffy donne de ce mécanisme.

EXPÉRIENCE XXII. — *Quand, le larynx étant en position d'équilibre vocal, on vient à tirer d'avant en arrière sur le cartilage thyroïde, on fait baisser le son d'une quarte à une sixte.*

Soit un larynx d'homme qui en équilibre donne le MI$_2$: *une traction du thyroïde d'avant en arrière amène son diapason à* LA$_1$ *ou* SOL$_1$.

L'action du muscle thyro-aryténoïdien, que dès maintenant je dois appeler muscle *relâcheur* des cordes vocales ligamenteuses, est donc ici manifestement d'abaisser la hauteur de la voix. Si j'exagère sa puissance, le larynx devient aphone, et j'ai ainsi expérimentalement déterminé cette disposition caractéristique produite en pathologie par la paralysie des muscles crico-thyroïdiens ou plus souvent des nerfs laryngés supérieurs; seulement ce syndrome clinique coïncide avec une glotte très étroite tandis que chez le cadavre je l'obtiens avec une glotte très large. C'est qu'en effet chez le cadavre je ne puis simuler complètement l'action du thyro-aryténoïdien; chez le vivant, en se contractant, il se bombe en son milieu et rapproche les lèvres de la glotte tout en les maintenant détendues; de sorte que la largeur de la glotte caractéristique de sons graves obtenus expérimentalement, est un phénomène cadavérique dû à la flaccidité du muscle thyro-aryténoïdien.

Remarque. — J'appelle *position d'équilibre vocal* du larynx cadavérique un état tel qu'il n'y ait prédominance d'action ni du muscle tenseur, ni du muscle relâcheur des cordes vocales; la note émise dans cette situation est d'une quinte ou d'une sixte supérieure au son le plus bas, et d'environ un dixième inférieure au son le plus haut émis par ce larynx. Cette position d'équilibre est due, chez le cadavre, uniquement à une action opposée des ligaments élastiques des cordes vocales qui tendent à raccourcir la glotte et du ligament crico-thyroïdien moyen qui tend à l'allonger. C'est là un état purement cadavérique qui correspond

à peu près à ce qui s'appellerait chez le vivant la *position d'intonation normale ;* mais comme chez le vivant il y a lieu de tenir compte d'actions musculaires infiniment plus complexes que de simples tractions élastiques qui survivent à la mort, il en résulte que la position d'équilibre vocal et la position d'intonation normale ne présentent point entre elles une concordance absolue, et ne correspondent point à une même note de l'échelle vocale. Dans les pages que je consacre plus loin à l'étude, jusqu'ici fort négligée, de l'intonation normale, je crois donner la raison de ces différences.

VI. — DES VARIATIONS DE HAUTEUR DU SON PAR TENSION AÉRIENNE

EXPÉRIENCE XXIII. — *Les cordes vocales étant maintenues à un degré fixe de tension musculaire, en variant la pression de l'air expiré on peut faire varier d'une quarte la hauteur du son.*

EXPÉRIENCE XXIV. — *Cette modification du son se fait plus aisément dans les notes basses que dans les notes aiguës; dans l'octave inférieure elle peut être d'une quinte, tandis que dans l'octave supérieure elle est difficilement de plus d'une tierce.*

EXPÉRIENCE XXV. — *Lorsque, avec une pression moyenne, on a atteint la note la plus haute fournie par la tension musculaire maxima, on peut encore hausser le son d'une à deux notes en augmentant la force du souffle.*

EXPÉRIENCE XXVI. — *Lorsque, avec une pression moyenne, on a atteint la limite inférieure de relâchement des cordes vocales compatible avec un son musical, on peut, en diminuant beaucoup la force du souffle, faire descendre ce son d'au moins trois notes.*

EXPÉRIENCE XXVII. — *Quand le son monte par simple accroissement de la force du souffle, sans augmentation de la tension musculaire des cordes vocales, la glotte est d'autant plus large, et les cordes vocales d'autant plus bombées que le son est plus élevé.*

Ceci a tout l'air d'un paradoxe, que la glotte soit d'autant plus large que le son soit plus élevé : rien n'est plus vrai cependant. Je me borne ici à constater ce fait, qui nécessite de longues explications que je donnerai plus loin à deux reprises : quand je montrerai que le dégré d'occlusion glottique est absolument indifférent à la hauteur du son, et quand je chercherai à mettre en relief le rôle capital et cependant peu remarqué que joue la tension aérienne dans l'acte de la phonation.

EXPÉRIENCE XXVIII. — *Les modifications du son par variations de la pression aérienne se produisent beaucoup plus facilement dans le registre de fausset que dans le registre de poitrine.*

EXPÉRIENCE XXIX. — *Le larynx étant en position de voix de poitrine (action de la pince) et donnant par exemple* UT_3, *si l'on augmente la force du souffle le son conservant le caractère anché monte d'une quarte et atteint le* FA_3. *Si l'on souffle alors avec*

une force extrême, le son primitif octavie et passe à l'UT$_4$; mais alors reparaît le timbre flûté; la muqueuse seule se met à vibrer; l'espace glottique fusiforme caractéristique du registre de fausset apparaît.

Ce qui revient à dire que, bien que le thyro-aryténoïdien reste contracté on peut produire la voix de tête par une expiration violente.

Mais étant donnée la pression considérable que nécessite la production de ce phénomène, je crois que cette expérience s'écarte tellement des conditions normales de la phonation, qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte dans l'établissement d'une théorie.

CHAPITRE III

EXPÉRIENCES SUR LES ANIMAUX

J'ai pratiqué ces expériences dans le seul but de combler la lacune que j'ai signalée dans mon expérimentation cadavérique, et afin de savoir si le muscle thyro-aryténoïdien contracté vibre ou ne vibre pas pendant l'émission de la voix.

Mes recherches ont porté sur cinq chiens, dont trois seulement m'ont fourni des notions positives, le premier ayant été infructueusement mutilé par les tâtonnements initiaux de mon inexpérience en ces sortes de travaux, un autre ayant brusquement succombé dès les premières inhalations chloroformiques.

Le procédé opératoire est des plus simples. Le chien étant profondément endormi, on lui pratique la pharyngotomie sous-hyoïdienne, en ayant soin de mettre une pince sur chaque vaisseau qu'on rencontre pour éviter la pénétration du sang dans les voies aériennes. On accroche alors l'épiglotte avec une érigne, et, l'attirant au dehors, on fait basculer le larynx qui vient se

présenter à l'orifice de la plaie. La glotte étant ainsi placée sous l'œil de l'expérimentateur, on laisse le chien se réveiller; et dès lors rien n'est plus aisé que d'examiner le jeu des cordes vocales pendant les cris provoqués ou spontanés de l'animal.

Je dois dire que, malgré tous les modes d'excitation employés, je n'ai pu faire produire aux chiens que des sons bas, des jappements ou des aboiements graves, tels que ceux que Segond rattache au registre de poitrine; je n'ai point obtenu de ces cris stridents de fausset dont ces animaux se servent d'ordinaire pour exprimer leurs souffrances; faut-il m'en prendre à l'état d'anesthésie produit par le sommeil chloroformique, ou à l'ablation des cordes vocales supérieures, enlevées pour faciliter l'examen direct de la glotte, ce qui ne ferait aucun doute pour Segond? Peu m'importe, en tout cas, puisque ces sons graves de poitrine coïncident avec une contraction maxima des muscles thyro-aryténoïdiens, qui se trouvent ainsi dans les meilleures conditions de vibration, si tant est qu'ils vibrent pendant l'émission de la voix.

La glotte étant ainsi mise à découvert, on sectionne transversalement et dans toute leur épaisseur les deux cordes ligamenteuses : celles-ci subissent immédiatement un mouvement de rétraction qui en écarte notablement les deux bouts, et en forme quatre petits moignons réfugiés aux angles de la glotte.

Je pense que cela prouve :

1° Que les cordes vocales ligamenteuses sont parfaitement élastiques;

2° Qu'elles n'adhèrent point à la couche musculaire

sous-jacente quoi qu'en ai dit Henle[1] : « Les fibres musculaires pénètrent si avant dans les cordes vocales et sont unies si intimement à la couche élastique qu'on ne peut se figurer que celle-ci vibre isolément tandis que le muscle se retire de la muqueuse... »

Cette opération a pour résultat d'amener une forte dysphonie, mais non pas l'aphonie absolue. Le chien a perdu la faculté d'aboyer, de japper, de produire un son timbré; mais il parvient encore, à l'aide de son larynx ainsi mutilé, à faire entendre un bruit rauque et étouffé, semblable à cette voix spéciale observée dans un grand nombre d'états pathologiques graves du larynx et que je décrirai ailleurs sous le nom de voix soufflée; ce bruit est dû à la mise en vibration, sous l'influence d'une violente expiration, des lambeaux de corde vocale flottant dans l'aire de la glotte. Pendant ces essais de phonation on voit le muscle thyro-aryténoïdien se contracter violemment, mais on ne le voit point vibrer. Cependant, on constate que si on vient à le sectionner entièrement, on fait disparaître cette raucité sourde qui avait survécu à la destruction des cordes ligamenteuses : et l'aphonie devient alors absolue. Je ne crois point qu'on puisse déduire de là quels muscles thyro-aryténoïdiens sont les agents essentiels de la phonation, parce qu'on n'obtient l'aphonie totale que quand on les détruit; car les vibrations d'anches aussi volumineuses devraient avoir une puissante sonorité, loin de faire naître cette raucité que j'ai signalée et à laquelle on a peine à donner le nom de *voix*. Je pense que si la section du plan musculaire

1. Henle. *Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen*, 1871.

amène seule l'aphonie absolue, c'est parce qu'elle agrandit tellement l'ouverture glottique que l'air expiré passe sans rencontrer de résistance et n'a plus assez de tension pour faire vibrer les moignons ligamenteux, qui seuls entretenaient la dysphonie.

Au reste, voici qui est encore plus concluant. Sur un chien boule-dogue fort bruyant, aboyant quand on l'approche, je fais la section de deux cordes vocales ligamenteuses : puis je remets le larynx en place et ferme la plaie cutanée avec quelques points de suture. L'animal survit à sa blessure deux jours, pendant lesquels il continue à grogner sourdement : mais il a totalement perdu la faculté d'aboyer, et quand il veut produire un son, il n'émet qu'une toux rauque et aphone.

De ces expériences je me crois en droit de conclure : *Que les sons du registre de poitrine sont dus uniquement aux vibrations de la partie ligamenteuse des cordes vocales inférieures et que les muscles thyro-aryténoïdiens ne vibrent pas pendant leur émission.*

CHAPITRE IV

EXPÉRIENCES SUR LES CADAVRES DE CHOLÉRIQUES

A la suite des expériences précédentes, et bien qu'elles n'aient avec elles que peu de points de contact, je rapporte ici quelques recherches faites l'an dernier en collaboration avec mon collègue Jeanselme pour déterminer l'état de la contractilité *post mortem* et l'action de certains muscles. Si l'on veut prendre la peine de lire le mémoire qui les relate[1] on verra que les conditions exceptionnellement avantageuses qui nous ont été offertes par l'épidémie de choléra de 1884 à l'hôpital Bichat, nous ont permis d'étudier le rôle de plusieurs muscles, à une époque assez rapprochée de la mort pour que l'excitation électrique ait pu encore y produire des contractions totales et utiles. Je ne parlerai naturellement ici que de ce qui a trait aux muscles du larynx; on y remarquera en plusieurs en-

1. E. Jeanselme et M. Lermoyez. *Étude sur la contractilité* post mortem *et sur l'action de certains muscles d'après des expériences faites sur des cadavres de cholériques*, in *Archives de physiologie normale et pathologique*, 15 août 1885, n° 6.

droits la concordance parfaite du résultat de nos recherches avec les données fournies par les expériences qui précèdent. Il n'est d'ailleurs pas besoin de faire remarquer combien la constatation directe de ces actions musculaires se substitue avantageusement aux considérations théoriques tirées de la direction des muscles et de leurs insertions.

« Nos recherches électriques sur les muscles du larynx ont toujours eu lieu dans les deux ou trois premiers quarts d'heure qui suivaient la mort des sujets. Dans plus de la moitié des cas, les scalpels qui faisaient office d'électrodes, portés sur les muscles laryngés, ont été impuissants à les faire entrer en contraction; et même dans les cas les plus favorables, jamais nous n'avons vu l'excitabilité fonctionnelle laryngée survivre plus de quarante minutes.

« De plus, il y a certains muscles du larynx que nous n'avons pas pu exciter, à quelque période que ce fût, même dans les autopsies les plus précoces : ce sont les faisceaux musculaires extérieurs à l'organe de la voix, les crico-thyroïdiens et les crico-aryténoïdiens postérieurs.

« Les crico-aryténoïdiens latéraux n'ont point été étudiés; ils sont du reste très difficiles à atteindre et presque impossibles à isoler du muscle de la corde vocale avec lequel ils se confondent.

« Restent donc l'ary-aryténoïdien et le thyro-aryténoïdien avec toutes ses expansions aryténo-épiglottiques et périventriculaires.

« I. — L'ary-aryténoïdien excité transversalement à travers la muqueuse pharyngienne qui le recouvre, et

sans dissection préalable de ses faisceaux, a rempli son rôle classique de constricteur de la glotte en rapprochant en masse les deux cartilages aryténoïdes et en accolant leurs faces internes dans toute leur portion verticale, de façon à effacer complètement la glotte intercartilagineuse : simple mouvement de translation qu'autorise parfaitement la laxité de l'articulation crico-aryténoïdienne.

« II. — De tous les muscles du larynx que nous avons pu exciter, le thyro-aryténoïdien interne est celui qui s'est laissé électriser le plus aisément et le plus efficacement. Le larynx étant encore intact, nous obtenions une forte contraction des cordes vocales inférieures, soit en portant les pointes de nos scalpels dans les commissures antérieure ou postérieure de la glotte, soit même en mettant un pôle au-devant de l'angle du thyroïde et l'autre sur la face postérieure des aryténoïdes : ce dernier mode d'électrisation de la glotte, qui donne sur le cadavre d'excellents résultats, est le meilleur qui puisse être appliqué sur l'homme vivant. Duchenne (de Boulogne)[1] avait déjà conseillé, comme le plus simple et le plus sûr moyen de bien faradiser la glotte, de placer une électrode cutanée au-devant du thyroïde, et de promener l'électrode pharyngienne en arrière du chaton du cricoïde et des aryténoides. Il est inexplicable que cette méthode soit tombée en désuétude et ait été remplacée par d'autres procédés d'effets bien moins certains.

« Ainsi électrisées, les cordes vocales inférieures se contractaient violemment sous nos yeux, mais ne pro-

1. Duchenne (de Boulogne). *Électrisation localisée*, 1872, p. 94.

saient point du tout ce qu'on observe au laryngoscope sur le vivant. Au contraire, sans se rapprocher, elles se gonflaient et déplaçaient fortement les cartilages aryténoïdes qu'elles entraînaient en avant vers le thyroïde, leur point d'insertion fixe, de façon à diminuer sensiblement le diamètre vocal antéro-postérieur.

« III. — Si fendant le larynx sur sa face postérieure et l'ouvrant en dépliant l'angle thyroïdien, nous venions à exciter isolément chacune des cordes vocales, nous observions encore une contraction bien nette de celles-ci avec gonflement et raccourcissement déjà mentionnés; mais, par suite de la diffusion électrique impossible à éviter dans ces parties, dont nous eussions totalement anéanti l'excitabilité par la dissection, nous notions des actions de voisinage. Cette remarque nous donna l'idée de porter nos électrodes sur les cordes vocales supérieures; nous les vîmes se contracter nettement, en même temps qu'elle se transportaient en masse vers l'axe du larynx.

« Y a-t-il donc un muscle dans la corde vocale supérieure? Les auteurs classiques n'en font aucune mention; Gay, dans sa thèse d'agrégation, le nie absolument[1]. Mais en Allemagne, dès 1874, Ruehlmann avait signalé dans le repli thyro-aryténoïdien supérieur la présence de fibres striées, disposées en faisceau antéro-postérieur; et, en 1876, Ruedinger[2] décrit le premier nettement le muscle de la corde vocale supérieure; il s'insère en arrière à la corne antérieure de l'aryténoïde et se porte en avant vers la partie supérieure du bord latéral de l'épiglotte en éparpillant ses faisceaux; ce

1. Gay. *Théorie physique de la phonation* (*Th. agrég.*, 1876).
2. Ruedinger, *Monatsschr. für Ohrenheilk.*, sept. 1876.

sont les fibres les plus internes qui pénètrent dans la corde vocale supérieure. Ruedinger signale, fait important, que ce muscle est beaucoup plus marqué sur les larynx d'hommes que sur les larynx de femmes, ce qui concorde parfaitement avec nos observations, nos recherches laryngo-musculaires n'ayant eu de résultats que sur les cadavres des cholériques du sexe masculin. Il est du reste d'observation laryngologique journalière que, chaque fois que les cordes vocales inférieures s'accolent pour l'émission du son, les supérieures imitent leur mouvement en se tendant et se rapprochant de la ligne médiane, ce qui est surtout appréciable lorsque celles-ci étant légèrement hypertrophiées par une inflammation chronique, apparaissent plus complètement dans le champ du miroir.

« L'électrisation de la corde vocale supérieure n'avait jamais été pratiquée antérieurement, que nous sachions; nos expériences ne font que confirmer le fait anatomique connu depuis la découverte de Ruedinger, en y ajoutant la preuve physiologique.

« IV. — En portant nos électrodes sur la face interne des replis aryténo-épiglottiques, nous avons observé leur tension, ce qui est d'accord avec ce que l'on sait de l'anatomie musculaire de ces régions.

« V. — Mais voici un point sur lequel nous désirons attirer spécialement l'attention : en électrisant la partie inférieure des replis aryténo-épiglottiques, au niveau de la base de la corde vocale supérieure, nous obtenions une contraction du ventricule de Morgagni, avec diminution de la capacité de sa cavité ; pour rendre ce fait évident, nous remplissions le ventricule d'un liquide coloré jusqu'à affleurement de son orifice

tenu horizontal. L'électrisation faisait immédiatement déborder le liquide.

« Le ventricule du larynx, en effet, est de tous côtés limité par des parois musculaires ; outre le thyro-aryténoïdien interne qui en forme le plancher et le thyro-aryténoïdien externe de Henle, lame allongée et aplatie qui en double la paroi inférieure et externe, Hopmann signale une couche musculaire spéciale, formant une grande partie de la paroi externe du ventricule : ces fibres, dirigées de haut en bas et de dehors en dedans, ne seraient que la portion terminale inférieure du stylo-laryngien de Luschka; elles s'épanouissent à la surface du ventricule dont elles renforcent la muqueuse, surtout à la partie antéro externe. Supérieurement enfin, et comme plafond du ventricule, s'étend le muscle de Ruedinger qui, d'une part pénètre dans la corde vocale supérieure, d'autre part se confond avec les expansions aryténo-épiglottiques établissant ainsi, entre la paroi ventriculaire et le repli aryténo-épiglottique, une continuité musculaire qui nous explique comment l'électrisation limitée d'un point de ce repli pouvait, en se diffusant, amener la contraction de la totalité du ventricule.

« Cette contraction expérimentale des ventricules, qui ne fait que reproduire sur la table d'amphithéâtre la constriction qui a lieu à chaque instant pendant la vie, fait justice de cette opinion courante, que ces cavités ne sont que des espaces destinés à faciliter le jeu des cordes vocales inférieures. Hopmann[1] est un des premiers qui, comprenant la portée de la découverte de

1. Hopmann. *Berlin. klin. Wochens.*, 1875, n° 4.

Helmholtz dans l'interprétation des phénomènes physiques de la phonation, ait établi que le ventricule du larynx est un véritable résonnateur, qui doit diminuer de capacité à mesure que les sons montent, et se contracter à des degrés variables, de façon à s'accorder avec la note ou l'harmonique glottique qu'il doit ren forcer. Nos constatations nous semblent apporter une sanction expérimentale à cette théorie qui tend à se généraliser, en Allemagne surtout. »

DEUXIÈME PARTIE

THÉORIES

AVANT-PROPOS

DE LA FORMATION DE LA VOIX

Le rôle physiologique d'un organe doit être étudié dans son expression la plus parfaite; c'est faire œuvre incomplète et mauvaise que de l'envisager dans une seule de ses modalités, eût-on même pour excuse que cette action restreinte en soit la forme la plus commune. La voix, ce son monotone et primordial que la parole habille de voyelles et de consonnes, n'est qu'un agissement incomplet du larynx : le produit du fonctionnement parfait de l'organe vocal, c'est le chant. J'entends ici le mot chant dans son sens le plus théorique, dans une acception telle qu'il signifie l'émission de la gamme, la succession de toutes les notes capables d'être créées par le larynx, et non point comme synthèse des différents modes de vocalisation qui constituent les procédés d'éducation de nos artistes. Je resserre même encore les limites où se cantonne mon

étude, car, dans tout ce qui va suivre, je ne m'occuperai que du son laryngé pur, de la voix mise à nu et dépouillée de toutes ses harmoniques sus-glottiques, privée de tous les sons accessoires qui l'embellissent et la transforment.

Voix et *chant* me semblent exprimer deux degrés bien distincts dans le fonctionnement du larynx. Étudier la voix, c'est rechercher par quel mécanisme un son est produit par la glotte. Étudier le chant, c'est considérer la gamme tout entière, c'est chercher à comprendre le mode de succession de toutes les notes émises par le larynx et les actions physiologiques qui les baissent ou les haussent. La voix, si l'on veut de cette comparaison, c'est l'ensemble d'une touche, d'un levier, d'un marteau et d'une corde; le chant, c'est le piano dans son entier.

Il y aurait grande erreur à vouloir restreindre la physiologie de la voix à l'étude des jeux musculaires qui amènent la production d'un son vocal : il importe surtout de considérer comment et jusqu'à quel point ce son peut se modifier. On rencontre dans la pratique certaines formes de dysphonie où les notes élevées de la voix ont disparu, quoique le médium reste normal. Dira-t-on que le larynx n'a pas subi d'altération, puisqu'il demeure intact quand il parle et ne trahit son infirmité que quand il chante?

Or cette distinction entre ces deux degrés fixe et mobile de la fonction vocale, que faute de mot propre j'appelle ici voix et chant, a ce résultat immédiatement utile qu'il en simplifie beaucoup l'étude. Jusqu'ici on s'était évertué en vain à comparer le larynx à une foule d'instruments de musique, sans arriver

à une ressemblance qui ne fût défectueuse par quelque côté. Jelenffy, rajeunissant la théorie du dicorde pneumatique de Ferrein, a trouvé l'analogie parfaite tant rêvée, en considérant, comme je le fais, la glotte dans ses deux états, suivant qu'elle émet un son, ou suivant qu'elle le module. « Le larynx, dit-il[1], est l'instrument de musique le plus beau et le plus parfait; le plus beau parce qu'il réflète fidèlement les sentiments de l'âme à quelque degré qu'ils soient portés, le plus parfait, parce que tandis que tous les autres reposent sur un seul principe, lui seul réunit à la fois les principes de l'anche et de la corde. C'est un instrument à *anches extensibles*.

« Quand le larynx émet un son de hauteur donnée, tant que ce son ne change pas, il demeure un instrument à anche pure, car l'anche ne modifie pas son degré de tension. Mais dès que la hauteur du son change, le principe de l'instrument à cordes entre en scène; les puissances musculaires tendent plus ou moins les anches vocales à la façon des cordes, de manière à augmenter le nombre de leurs vibrations et à changer le ton. »

Il faut conserver le nom de *cordes vocales* imaginé par Ferrein et non lui substituer la dénomination d'*anches vocales* proposée de nos jours; car bien que ces deux appellations ne correspondent chacune qu'à une partie de la fonction vocale du larynx, le mot cordes a ce double avantage d'être connu de tout le monde, et d'éveiller immédiatement l'idée de la tension en longueur.

1. Jelenffy. *Ueber die Fixation der Giessbeckenknorpel während der Phonation*, in *Wiener medizinische Wochenschrift*, 1873, p. 52 et suiv. n°s 3 et 4.

La physique nous enseigne que le nombre de vibrations effectuées en une seconde par une corde vibrante varie en raison inverse de sa longueur, de son diamètre, proportionnellement à la racine carrée de sa tension, et inversement à la racine carrée de sa densité.

Les rôles de ces quatre facteurs dans la modification du son glottique ont une importance profondément inégale. Je ne pense pas qu'il y ait lieu de tenir compte des variations de densité des cordes vocales. Quant à leurs changements de diamètre, ils sont la conséquence fatale et naturelle de leurs changements de tension, et ne produisent qu'une action adjuvante qui doit rester au second plan : au reste on verra plus loin que les modifications de diamètre influencent plus le timbre que le diapason de la voix.

Mieux vaudrait ne point parler des modifications de longueur des cordes vocales, car on se trouve ici en présence de ce fait absolument paradoxal que la glotte est d'autant plus longue qu'elle émet un son plus élevé; heureusement l'allongement des cordes vocales produit par les plus grands efforts de tension est si minime — le quart au plus de leur longueur (Béclard) — que l'influence de ces variations de longueur est une quantité négligeable dans le problème de la gamme vocale. Peut-être même est-elle précisément compensée par la diminution parallèle du diamètre des cordes.

La *tension* seule est l'agent capital de la modulation de la voix : c'est là une grande vérité qu'on ne saurait trop en mettre en lumière. Du reste les expériences de Mueller et les miennes démontrent que par la seule

modification de tension des cordes vocales on peut produire l'échelle la plus étendue des sons vocaux.

La vibration des cordes vocales inférieures, fait capital dans la production de la voix, exige pour naître deux conditions absolues :

a. *Une tension suffisante des cordes vocales inférieures.*

b. *Une pression suffisante du courant d'air expiré.*

Cette question comporte donc deux termes : l'un — tension glottique — est du domaine du larynx et fait l'objet de cette étude; le second — pression aérienne — est un phénomène d'ordre pulmonaire dont je n'ai point à rechercher ici le mécanisme; mais j'aurai à chaque instant à tenir compte de ses effets au cours de ce travail.

Je vais donc étudier la *tension des cordes vocales*. Les expériences faites sur le cadavre ont démontré que cette action peut se produire sous deux influences absolument différentes, indépendantes, mais qui cependant agissent simultanément et se prêtent un mutuel appui. Cette tension peut être *active* ou *passive.*

La tension active est produite par la contraction des muscles du larynx ;

La tension passive résulte de la pression de l'air expiré.

On a eu le tort, à mon sens, de considérer comme capitale et presque exclusive l'influence de la tension active dans l'acte de la phonation ; je crois que la tension passive lui vient toujours en aide et lui prête un appui utile ; de telle sorte qu'on doit admettre que toute note glottique correspond à un état des cordes vocales qui

est le résultat des actions toujours combinées de la tension active par les muscles, et de la tension passive par l'air.

A chacun de ces modes de tension je consacre un chapitre. Mais avant d'étudier ces questions, il importe d'établir d'une façon définitive quel rôle joue l'occlusion glottique dans l'acte phonatoire et d'expliquer pourquoi je lui retire les fonctions importantes dont elle était jadis investie dans la constitution du trépied vocal.

Peut-être serait il bon d'établir dès maintenant un plan détaillé des pages qui vont venir, car je ne me dissimule pas qu'au milieu du chaos des théories confuses que je vais avoir à remuer, il sera souvent difficile de retrouver les grandes lignes de cette étude et de les suivre sans s'égarer dans des détails qui souvent les masqueront. Mais il m'est bien plus simple de diviser mon sujet comme l'acte de la phonation est lui-même partagé. Toute émission de voix se fait en deux temps : dans un premier moment, la glotte se met en position vocale, et s'accommode; dans un second moment, la glotte accommodée entre en vibrations et résonne. Tout exposé de la phonation doit se faire parallèlement à cet ordre naturel.

DE LA MANIÈRE DONT LES CORDES VOCALES S'ACCOMMODENT

CHAPITRE PREMIER

DE L'OCCLUSION DE LA GLOTTE

Il faut arriver en 1700, quand on parcourt l'histoire des théories de la phonation et lire le mémoire de Dodart[1] pour voir le principe de la tension des cordes vocales entrer comme facteur sérieux dans le mécanisme de la voix. L'analogie obstinée que les anatomistes anciens établissaient entre le larynx et la flûte, assimilant les cordes vocales à une embouchure rigide, entraînait cette naturelle conséquence que la variation de l'ouverture de la glotte était pour eux la seule cause de la modulation de la voix. — Même au milieu du XVIe siècle Fabrice d'Aquapendante[2] déduit de ses études anatomiques, cette conclusion que « la glotte

1. Dodart. *Mémoire sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons*, in *Mémoires de l'Acad. des sciences*. Paris, 1700, p. 244; — 1706, p. 136; — 1707, p. 66.
2. Fabrizzio d'Aquapendante. *De visione, voce, auditu tractatus*. Venise, 1600, in-folio. *Tractatus de locutione et ejus instrumentis*. Venise, 1603, in-4°.

est la partie la plus essentielle de la voix : c'est elle qui la produit par son resserrement ou sa dilatation ». Pour cet auteur, il y a trois moyens de varier le son de la voix : par une modification de la lumière, par un changement de la longueur du tuyau sonore, par une variation du diamètre du canal. — Le père Mersenne adopte aussi comme la plus vraisemblable l'hypothèse où les cordes vocales restent immobiles comme des tuyaux d'orgue en bec de flûte, et où le son se modifie uniquement d'après les dimensions de la glotte, dont la largeur est réglée par le jeu des muscles du larynx.

Vient alors Dodart, qui donne sa théorie du châssis bruyant — anche membraneuse simple — laquelle réalise un grand progrès; il considère les variations de tension des lèvres de la glotte comme une des principales causes des changements de ton, mais il s'empresse d'ajouter qu'elles ne suffisent pas à produire les modulations vocales, et qu'il faut rechercher la cause principale de ces modifications dans le plus ou moins d'ouverture de la glotte. « La glotte, dit-il, n'est capable que d'une seule modification : cette modification est l'approchement et l'éloignement mutuel de ses lèvres. Ce doit être par là qu'elle produit les différents tons de la voix. »

Il ajoute cependant plus loin que *les lèvres sont diversement bandées* suivant le nombre des vibrations qu'elles émettent; et en cela sa théorie est originale et grandement préférable à ses devancières. Mais il ne tarde pas à retourner aux anciens errements : après avoir bien compris et établi le rôle de la tension des cordes vocales, il finit par ne plus attribuer les diffé-

rents tons qu'aux divers degrés d'ouverture de la glotte; pour lui une modification de $\frac{1}{54}$ de fil de soie, de $\frac{1}{384}$ de cheveu dans le diamètre de l'aire glottique suffit à produire un changement de ton! — Plus tard von Kempelen (1791) attribue une égale importance à la variation de tension des cordes et aux changements d'ouverture de la glotte dans la modification des tons.

Mais en 1814, Liscovius [1], emporté par son ardeur à détruire la théorie de Ferrein, n'admet plus comme seule cause de la hauteur de la voix que les dimensions de l'aire glottique. On ne peut, suivant lui, tenir compte de la tension des cordes vocales dans l'explication des phénomènes vocaux : car, du moment que la glotte est plus large dans les sons graves, ses bords doivent subir une distension plus grande, d'où il résulte que les cordes vocales sont tendues dans les sons graves et relâchées dans les sons aigus. Liscovius fait encore bien d'autres objections aux partisans du rôle de la tension ligamenteuse : il n'y a que les cordes sèches qui soient élastiques et les ligaments de la glotte sont toujours humides; il n'y a pas de corde à laquelle l'air puisse imprimer des ébranlements suffisants pour qu'elle produise des sons forts. Et il en conclut que l'influence de la tension ou du relâchement des cordes vocales se réduit à l'élargissement de la glotte qui en résulte.

Toutes ces théories se réduisent en somme à deux opinions : l'une, antique et erronnée, n'attribue les modulations du son qu'aux simples modifications de

1. R.-F. Liscovius. *Dissertatio sistens theoriam vocis*. Leipzig, 1814.

l'espace glottique; l'autre, moins exclusive et fort admise de nos jours, sans contester l'influence de ce principe, lui adjoint un second élément non moins capital, l'action des changements de tension des cordes vocales. Or je veux démontrer que la vérité ne se trouve ni dans l'une ni dans l'autre de ces deux hypothèses, mais dans une troisième *qui considère la tension des cordes comme le fait capital, et ne voit dans l'occlusion glottique qu'un phénomène tout à fait secondaire et dont il n'y a souvent pas lieu de tenir compte.*

C'est à Mueller que je veux emprunter mes premiers arguments. Une de ses expériences montre que quand « les cordes vocales ont une tension soutenue, le son reste le même, eu égard seulement à la hauteur, que la partie postérieure de la glotte soit ouverte ou qu'elle ne le soit pas ». Plus loin, l'affirmation est encore plus nette : « A tension égale des cordes vocales, le plus ou moins d'étroitesse de la glotte n'a pas d'influence notable sur l'élévation du son. » Ces expériences me paraissent suffisantes pour convaincre les plus sceptiques. La seule différence, ajoute Mueller, c'est que quand la glotte est plus large, le son sort avec peine et a moins d'éclat. Au reste, les cordes vocales se comportent ici comme les languettes membraneuses, dans lesquelles une ouverture plus large rend le son plus difficile à sortir, mais ne modifie pas sa hauteur. Il est curieux à ce propos de rappeler que déjà, en 1741, Ferrein avait remarqué qu'une plus grande largeur de la glotte n'entraîne pas nécessairement de sons plus graves.

Plus loin, Mueller ajoute encore : « Quand les cordes vocales ont une longueur déterminée et une tension

faible qui demeure la même, la hauteur du son ne varie pas, soit qu'elles se touchent, soit qu'elles laissent une étroite ouverture entre elles. »

Mes recherches sur les variations de hauteur du son par tension aérienne confirment encore cette manière de voir. L'expérience XXVII, qui établit que « quand le son monte par simple accroissement de la force du souffle, sans augmentation de la tension musculaire des cordes vocales, *la glotte est d'autant plus large* et les cordes vocales d'autant plus bombées que *le son est plus élevé* », montre que non seulement le degré d'ouverture de la glotte ne commande pas la hauteur du son, mais qu'il lui est tellement indifférent, que dans certaines circonstances, au rebours de Dodart et de Liscovius, on peut soutenir que la seule cause qui amène l'ascension du son est l'élargissement de la glotte.

Ces faits ont une force [d'argumentation suffisante que j'affaiblirais en la diluant dans de longues explications. Au reste Jelenffy[1] est absolument affirmatif sur ce point : le degré d'occlusion de la glotte peut avoir une influence sur le timbre de la voix, mais n'en a aucune sur sa hauteur. Que dans une anche la fente ait $0^m,002$ ou seulement l'épaisseur d'une lame d'or battu, le ton ne change pas de hauteur ; mais dans le premier cas le son sort mal et il est plus faible.

Il arrive parfois qu'en lisant des observations faites sans parti pris ou recueillies souvent dans un but tout différent de celui qu'on se propose soi-même, on y

1. Jelenffy. *Der Musculus vocalis und die Stimmregister*, in *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere, von Pflüger*. Bonn, 1870, t. XXII, p. 50.

trouve des détails ayant une signification spéciale que l'auteur n'avait point remarquée, et qui sont d'autant meilleurs arguments qu'ils ont été rapportés avec une impartialité et une inconscience qui excluent toute prévention. C'est ainsi que Lennox Browne, en décrivant trois façons d'émettre un son, nous fournit sans y prendre garde une excellente plaidoirie en faveur de l'absolue indifférence du degré de la largeur de la glotte en matière de tonalité.

La glotte, nous dit-il[1], peut se fermer de trois façons différentes, qui chacune amène un résultat spécial.

Dans le « glide of the glottis » les cordes vocales ne sont pas suffisamment maintenues en contact et laissent passer entre elles plus d'air qu'il n'en faut pour les besoins de la phonation. Dans ce cas, la voix est cotonneuse.

D'autres fois, et ceci constitue le « check of the glottis », les ligaments vocaux sont tellement pressés l'un contre l'autre, que l'air a toutes les peines du monde à vaincre leur résistance et produit un son sec et métallique.

Enfin, dans les conditions normales du « shock of the glottis », il n'y a ni déperdition d'air comme dans le premier cas, ni obstacle à surmonter comme dans le second; le rapprochement des cordes vocales se fait au juste degré nécessaire, et le son est le meilleur.

Or, il est possible de chanter n'importe quelle note avec une de ces trois formes de la glotte. Lennox

1. Lennox Browne et Emil Behnke. *Voice, song and speech*. Londres, 1884, p. 161.

Browne ne démontre-t-il pas ainsi ce que je veux prouver?

Il convient cependant de n'exagérer aucune opinion, et ce seraient deux fautes également grandes d'avoir admis pendant des siècles que les dimensions de l'espace glottique commandent seules la hauteur de la voix et de soutenir maintenant que l'occlusion de la glotte, à quelque degré qu'elle soit portée, ne modifie jamais le diapason vocal. Car on sait que trop ou trop peu de fermeture de la glotte produit l'aphonie.

Une occlusion glottique complète, empêchant l'air trachéal de s'échapper au dehors, supprime du même coup la mise en vibration vocale. Ce fait a été surtout établi par Schnitzler[1]; mais un point sur lequel il n'a pas assez insisté, c'est qu'il ne suffit pas que les cordes vocales soient pressées l'une contre l'autre pour que leurs vibrations s'éteignent : il est, à mon avis, nécessaire qu'elles se recouvrent et s'imbriquent. Le professeur Gavarret[2] enseigne avec raison que « le mouvement vibratoire des cordes vocales s'exécutant dans un plan vertical, un simple accolement latéral ne suffit pas pour l'éteindre dans une partie de leur longueur. Les rubans vocaux se conduisent comme les lèvres latéralement accolées du joueur de cor : l'air comprimé dans la cavité thoracique et la trachée repousse en haut, en écartant leurs bords, les cordes vocales accolés que leur élasticité ramène à leur

1. Schnitzler. *Aphonia spastica*, in *Wiener medizinische Presse*, 1875, p. 429 et 478.

2. Gavarret. *Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition*, 1877. Note C, p. 575.

position d'équilibre, dès que l'écoulement d'une bouffée d'air a fait baisser la pression dans la trachée ».

Inversement, si la glotte demeure trop béante, il y a aphonie absolue. Le cas est fréquemment observé en pathologie laryngée. En effet, pour mettre les cordes vocales en vibration, l'air a besoin d'une certaine tension qu'il n'acquiert que proportionnellement à la résistance qu'il éprouve à franchir la fente glottique; que cet obstacle vienne à disparaître, l'air cesse d'être comprimé dans les canaux aériens d'amont, et s'échappe en toute liberté sans faire vibrer les cordes vocales, puisqu'à vrai dire il ne les rencontre plus sur son passage.

Pour être exact, il faut donc admettre que dans *ses degrés moyens, le diamètre de l'orifice glottique n'exerce aucune influence sur la hauteur du son.*

Mais si le diamètre de la glotte ne détermine point la note, il règle cependant la tension aérienne dans le tuyau porte-vent : dans cette façon de le considérer, on ne saurait lui refuser une incontestable utilité. Voici comment on peut comprendre le rôle que joue l'occlusion de la glotte dans la phonation. « La hauteur du son dépend uniquement de la tension des rubans vocaux et non de leur rapprochement. Mais à mesure que ceux-ci se tendent, ils exigent pour vibrer un courant d'air plus fort. Or, cette augmentation nécessaire de la pression sous-glottique est obtenue par ce fait que les cordes vocales, se rapprochant à mesure qu'elles se tendent, mettent un obstacle croissant à l'émission de l'air. Il y a là un agencement des plus ingénieux par lequel la corde vocale, en se tendant, règle de ce fait et par elle-même la pression aérienne

exacte dont elle a besoin pour vibrer[1]. » En somme, le son ne monte pas parce que la glotte se resserre : c'est la glotte qui se resserre parce que le son monte.

Cependant la nature possède un moyen autre que le rétrécissement glottique pour augmenter la tension de la colonne d'air : ce moyen, qui réside dans l'énergie plus grande de contraction des muscles expirateurs, est constamment mis en usage par les chanteurs. Il est d'observation habituelle que plus un son est chanté fort, plus l'air pulmonaire est vite épuisé; or ce serait exactement l'inverse si l'intensité plus grande d'un son était due au resserrement plus marqué de la glotte. Mais quand la tension du courant d'air expiré augmente, le nombre des vibrations des cordes vocales doit s'accroître et le son doit monter : en réalité cela n'a pas lieu; cet inconvénient est évité grâce à un mécanisme spécial, où le degré d'occlusion de la glotte intervient d'une façon assez complexe, que j'étudierai plus loin en parlant de la compensation vocale.

1. Gouguenheim et Lermoyez. *Physiologie de la voix et du chant*, etc., p. 45, note 1.

CHAPITRE II

DE LA TENSION ACTIVE DES CORDES VOCALES

Il est juste d'attribuer à chacun des muscles du larynx un rôle spécial : en toute raison, on doit conclure de leurs différences d'insertion et de direction à leur différences d'action. Mais admettre par cela même leur indépendance absolue, et croire que la contraction d'un seul d'entre eux peut se produire sans que les autres s'en mêlent, me paraît être une erreur. Le larynx a pour cause finale la voix; s'il se trouve en même temps faire partie de l'appareil respiratoire, c'est que la nature, avare de ses forces et peu prodigue d'espace, a voulu utiliser l'air vicié qui sort des poumons, et faire d'une pierre deux coups. Or, tout dans ce larynx est construit dans le but unique de la phonation; même les muscles qu'on a coutume de nommer respirateurs jouent un rôle dans la formation du son; dès que la voix doit se produire, toutes les parties du larynx entrent en jeu et se prêtent un mutuel appui. On pourrait dire des muscles du larynx qu'ils sont en confédération à la façon de certains peuples voisins;

chacun d'eux, en temps de repos, garde son nom, sa façon d'être, possède même son autonomie : mais dès qu'est venu le moment d'agir ensemble, tous leurs antagonismes régionaux sont oubliés, leurs forces s'allient, leurs actions se combinent, et chacun d'eux, à un degré d'importance variable, joue son rôle dans la mise en accommodation vocale de la glotte.

Ceci m'oblige donc, dans un chapitre qui a trait à la tension active des cordes vocales, à passer en revue l'action de tous les muscles du larynx. Mais j'ai deux moyens de simplifier mon travail, et j'en userai : d'une part je n'étudierai le rôle de chacun de ces muscles qu'autant qu'il concourt à l'accommodation glottique, et je négligerai de rechercher quel est son fonctionnement dans la respiration normale ou profonde, ou de quelle façon il amène des modifications dans les parties résonnantes du larynx. Et d'autre part je ne m'attarderai pas à considérer la riche collection de muscles secondaires ou accessoires dont l'organe vocal est fourni. — Étudier les gros muscles du larynx, et ne considérer de leurs actions que celles qui sont directement nécessaires à la phonation, tel sera mon but dans les pages qui suivent.

I. — ACTION DU MUSCLE ARY-ARYTÉNOÏDIEN

A. — L'action de ce muscle n'est plus contestée depuis que Longet ayant électrisé sur des animaux fraîchement tués les filets des nerfs laryngés inférieurs qui s'y rendent, a vu les aryténoïdes se rapprocher avec force et la glotte se rétrécir. — Sur des cadavres de

cholériques, nous avons pu porter directement les électrodes sur ce muscle mis à nu, et nous l'avons vu accoler intimement les faces internes des aryténoïdes. Il y a donc lieu de ne citer que comme une curiosité historique l'opinion ancienne qui faisait théoriquement de ce muscle un dilatateur de la glotte, admettant que les fibres insérées aux bords externes des aryténoïdes devaient faire pivoter les cartilages de façon à porter en dehors les apophyses vocales.

Ce muscle a encore un autre rôle que Krishaber et Peter ont signalé :

« Quand sur un larynx sain on étudie le mécanisme de la phonation, on voit qu'au moment de l'émission du son les apophyses antérieures des aryténoïdes, en se rapprochant pour ramener les cordes vocales vers la ligne médiane, ramènent également vers cette ligne une petite partie de la paroi aryténoïdale de la muqueuse du larynx en la plissant et en la comprimant pendant toute la durée de l'émission du son. Cette compression, cette traction est nécessairement en raison directe de l'intensité du son et de sa hauteur, et l'on conçoit aisément qu'elle a non seulement pour effet, mais probablement pour un de ses buts, la sécrétion des glandes contenues dans son intérieur, et nécessaire à la lubrification des parties [1]. »

B. — Quoi qu'il en soit, le muscle ary-aryténoïdien est avant tout un constricteur de la glotte intercartilagineuse. Ce n'est pas sur l'existence du fait que je veux discuter, c'est sur son utilité. Cette occlusion de la glotte postérieure est-elle nécessaire à l'émission de

1. Krishaber et Peter. Art. LARYNX, *Pathologie médicale*, in *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*, 2e série, t. I, p. 628.

la voix? Je puis répondre qu'elle lui est indispensable. Et rien ne me sera plus aisé que de le prouver. Je rappelle simplement mes expériences I et II sur le larynx de cadavre :

EXPÉRIENCE I. — *La glotte postérieure étant ouverte dans toute sa largeur, aucun son ne peut être obtenu, quelles que soient la tension des cordes vocales et la pression de l'air.*

EXPÉRIENCE II. — *La tension glottique et la pression aérienne restant les mêmes, le son se produit dès que les apophyses vocales viennent en contact.*

Maintes fois aussi j'ai eu l'occasion d'observer au laryngoscope ce phénomène d'occlusion. D'ailleurs si je veux invoquer, en faveur de cette démonstration, des autorités incontestées, je puis citer Magendie et Malgaigne.

« Si l'on prend, dit Magendie[1], la trachée artère et le larynx d'un animal ou d'un homme, et qu'avec un gros soufflet on pousse de l'air dans la trachée, en le dirigeant vers le larynx, aucun son n'est produit, mais seulement un léger bruit, résultant du frottement de l'air contre les parois du larynx. Si, continuant de souffler, on rapproche les cartilages aryténoïdes, de sorte qu'ils se touchent par leur face interne, il se produira un son qui aura quelque analogie avec la voix de l'animal auquel appartient le larynx servant à l'expérience. »

1. Magendie. *Précis élémentaire de physiologie.* Paris, 1816, t. I, p. 209.

Malgaigne[1] a aussi cherché à déterminer expérimentalement le mécanisme de formation de la voix en opérant sur des animaux vivants, il nous dit : « Quand j'ai essayé d'écarter les aryténoïdes pour l'élargir (la glotte) et obtenir un son plus grave, je n'ai réussi qu'à faire cesser le son. »

C. — L'insistance sur ce point, qui cependant semble clairement établi, est nécessaire, car certains auteurs modernes ont soutenu des théories en opposition absolue avec ce principe : ainsi Mandl, ainsi Harless : je cite les plus connus.

La théorie de Mandl[2] est la suivante. Dans toute l'étendue du registre de poitrine, la glotte intercartilagineuse reste béante ; à mesure que le son s'élève les apophyses vocales se rapprochent de plus en plus mais *jamais les surfaces internes concaves des aryténoïdes ne viennent en contact*. Dès que la voix passe au registre de fausset, toute la portion intercartilagineuse se ferme, et les vibrations vocales se limitent à la glotte interligamenteuse. Le muscle ary-aryténoïdien serait donc relâché dans les sons de poitrine, contracté dans la voix de tête. Mandl serait en droit de le nommer *muscle de la voix de tête.*

Harless[3], de ses expériences sur les larynx de cadavre a tiré cette bizarre conclusion que la glotte inter-aryténoïdienne reste toujours ouverte pendant la phonation, et qu'elle sert de ventilateur pour régulariser la ten-

1. Malgaigne. *Nouvelle théorie de la voix humaine,* in *Arch. générales de médecine*, t. XXV. Paris, 1830.
2. L. Mandl. *Traité pratique des maladies du larynx et du pharynx.* Paris, 1872, p. 268 et suiv.
3. Harless. Art. STIMME, in *Wagner's Handwörterbuch der Physiologie,* t. IV.

sion de l'air expiré, afin que la hauteur du son se maintienne toujours au même point. J'ai déjà montré la contradiction qui existe entre ce fait et mes propres expériences.

D. — Ainsi donc, le controverse qui règne encore en physiologie ne porte plus sur le mode d'action de l'ary-aryténoïdien, mais seulement sur la nécessité de son action. Les uns admettent que la glotte postérieure reste constamment close pendant la phonation, les autres soutiennent sa béance permanente dans les conditions de production de la voix normale. Or il y a lieu de prendre comme terrain de conciliation définitive une hypothèse moins absolue, mixte, et qu'on pourrait formuler de la sorte :

1° *Une grande ouverture de la glotte postérieure produit constamment l'aphonie;*

2° *Une moyenne ouverture de la glotte postérieure est compatible avec l'existence d'une voix très faible;*

3° *Une petite ouverture de la glotte postérieure est une condition normale qui accompagne l'émission des sons graves du registre de poitrine.*

1° Les faits pathologiques sont assez nombreux qui prouvent la coexistence d'une aphonie totale avec une glotte interligamenteuse intacte, et une glotte intercartilagineuse béante. Il suffit de rappeler que la production de la voix exige deux conditions absolues: une tension suffisante des cordes vocales, — une intensité suffisante du courant d'air expiré.

La première condition est ici remplie, la seconde ne l'est pas, parce que l'espace inter-aryténoïdien, immobile dans sa béance, laisse échapper en pure perte l'air expiré, et diminue à tel point la pression sous-

glottique que la mise en vibration de la glotte n'est plus possible. Il y a donc ici aphonie par coulage phonatoire, *phonatory leakage* (Elsberg)[1], ce que les Allemands appellent *Luftverschwendung.*

L'expérimentation directe confirme absolument cette observation pathologique.

2° Or maintenant diminuez par la pensée l'aire de l'espace inter-aryténoïdien, vous augmentez du même coup et d'une quantité proportionnelle la tension de l'air sous-glottique. Le fluide expiré arrivant ainsi avec une force de plus en plus grande, fera vibrer les cordes vocales d'abord avec une grande faiblesse, puis avec une intensité croissante, si bien qu'à mesure que la glotte inter-aryténoïdienne se referme, la voix reparaît faible, à peine perceptible, puis progressiment sonore jusqu'à rétablissement de son timbre normal.

Il n'est guère probable que la nature emploie ce procédé pour atténuer l'intensité de la voix et produire les sons pianos; un simple ralentissement de l'expiration, une contraction du sterno-mastoïdien qui empêche la cage thoracique de retomber trop vite, amène le même résultat avec une déperdition d'air bien moindre. Cependant Martel[2] croit avoir trouvé dans cette demi-béance de la glotte postérieure la caractéristique anatomique d'un timbre spécial de la voix chantée, connu sous le nom de *voix sombrée.* Au cas même où sa théorie serait erronée, elle est

1. L. Elsberg. *Des paralysies des muscles du larynx.* Traduit in *Revue mens. de laryngologie*, 1882, t. II, p. 361.

2. Martel. *Physiologie de la phonation*, in *Revue bibliographique universelle des sciences méd.*, t. II, n° 15, 31 mars 1885.

cependant assez curieuse pour qu'on puisse en faire mention.

La voix sombrée, introduite en France par Duprez, en 1837, est plus douce, plus sourde mais beaucoup plus fatigante que la *voix blanche.* Elle est due à l'ouverture plus ou moins grande de la glotte interaryténoïdienne, produite par le relâchement du muscle ary-aryténoïdien, tandis que tous les autres muscles du larynx demeurent contractés. Par l'ouverture postérieure s'écoule une colonne d'air silencieuse que le chanteur règle à volonté : plus ce courant d'air est fort, plus la voix est sombrée. Et à l'appui de sa théorie, Martel cite ce fait que la durée d'émission du SOL_2 en voix blanche est de 35 secondes, tandis que la même note, émise en voix sombrée, ne dure que 20 secondes.

3° Enfin, depuis quelques années, il tend à être généralement admis que la glotte postérieure reste légèrement béante pendant les sons graves du registre de poitrine.

Dans la voix de poitrine, dit Donders[1], aussi bien que dans la voix de fausset, on voit les vibrations, pour les sons élevés, se limiter à la glotte proprement dite, tandis qu'elles s'étendent pour les sons graves, aux aphophyses antérieures des cartilages aryténoïdes. Le professeur Gavarret, dans sa remarquable critique de la théorie du maître hollandais, considère cette extension du mouvement vibratoire comme admissible, puisque « dans les sons graves, les *apophyses antérieurs des cartilages aryténoïdes*, quoique

1. Donders. *De Physiologie der Spraakklanken*, 1870. — *De menschelijke Stem.*

très rapprochés *ne se touchent pas*, et s'associent aux vibrations des rubans vocaux. »

Michael[1] et Merkel[2] admettent deux parties dans le registre de poitrine; dans les sons graves, la fente glottique postérieure reste ouverte grâce à un relâchement du muscle ary-aryténoïdien; mais elle se ferme dans les sons aigus, par la contraction de ce muscle dont la paralysie déterminerait la perte des notes supérieures du registre de poitrine (?).

Les détails les plus intéressants se trouvent chez les auteurs anglais[3] dont je donnerai les opinions en matière de conclusion de ce paragraphe.

Pendant l'émission des sons les plus graves du registre de poitrine, la glotte est elliptique et ouverte dans toute sa longueur; deux ou trois notes plus haut les processus vocaux commencent à faire saillie, puis viennent en contact; à ce moment la glotte est divisée en deux moitiés, et la glotte inter-cartilagineuse forme un petit triangle à base postérieure qui va sans cesse en se rétrécissant. Cette forme de glotte correspond à peu près au diapason de la parole ordinaire (?). Puis, dans la moitié supérieure du registre de poitrine, la glotte postérieure est absolument fermée. Mais il y a de grandes différences individuelles dans la précocité de cette occlusion de la glotte postérieure : chez les ténors, l'ary-aryténoïdien reste contracté dans toute l'étendue de la voix de poitrine, de sorte que, comme

1. Michael. *Zur Physiologie und Pathologie des Gesanges*, in *Berliner klinische Wochenschrift*. 1876, n° 36 et n° 37.

2. Merkel. *Die Functionen des menschlichen Schlund-und Kehlkopfes*, Leipzig, 1862.

3. Gordon Holmes. *A treatise on vocal physiology and hygiene*, London, 1881, p. 117. — Lennox Browne et Emil Behnke, *loc. cit.*, p. 163 et suiv.

le fait judicieusement remarquer Lennox Browne, c'est surtout chez les basses qu'on peut le mieux étudier son action.

En somme, ce muscle à chaque instant de la phonation est en alternative de contraction et de relâchement, de telle sorte qu'on a pu le comparer au muscle cardiaque.

§ II. — ACTION DU MUSCLE CRICO-ARYTÉNOÏDIEN LATÉRAL

Haller[1] et en général les physiologistes de son époque, regardaient le crico-aryténoïdien latéral comme muscle dilatateur de la glotte.

Bichat, Mueller, Longet l'ont décrit comme constricteur.

De nos jours, tout le monde admet que ce muscle est constricteur de la glotte. Cependant il a une triple action dont chacune concourt directement à la production de la voix. C'est donc un muscle essentiellement phonateur :

1° Il rapproche les apophyses vocales et les amène en contact;

2° Il tend les cordes vocales et élève les processus vocaux par ce fait qu'en se contractant il abaisse les apophyses musculaires : le cartilage bascule autour d'un axe transversal;

3° Il contribue à fixer les aryténoïdes pendant la phonation (Voir le paragraphe suivant).

L'accolement des apophyses vocales est indispensable dans l'émission des sons aigus; il n'est pas

1. Haller. *Elem phys.*, t. III, p. 336.

nécessaire pour la production des sons graves ; au reste je me suis assez longuement expliqué sur ce point dans le précédent paragraphe. Je veux seulement montrer la différence qui sépare les actions du crico-aryténoïdien postérieur et de l'ary-aryténoïdien, tous deux cependant muscles constricteurs de la glotte. Longet a eu l'expression heureuse en appelant le premier *muscle constricteur de la glotte vocale* et le second *muscle constricteur de la glotte respiratoire.*

Le crico-aryténoïdien latéral accolle fortement les apophyses vocales, mais il n'agit pas sur le déplacement transversal des aryténoïdes. En supposant que ce muscle se contracte seul, la glotte postérieure prend la forme d'un triangle dont le sommet correspond en avant au point de jonction des deux processus vocaux et dont la base postérieure mesure la distance de séparation des corps des aryténoïdes, qui demeurent écartés par suite de l'inaction des muscles ary-aryténoïdiens.

Inversement, l'ary-aryténoïdien accolle fortement les bords postérieurs des aryténoïdes, les rapproche en arrière, mais cependant permet aux processus vocaux un certain mouvement de déplacement dans le sens transversal. — Cela se voit fort bien quand on opère sur un larynx de cadavre. Mueller recommande de fixer les aryténoïdes sur une broche qui les traverse transversalement ; mais on n'immobilise ainsi que le corps des cartilages, car on n'imite que l'action de l'ary-aryténoïdien : qu'on vienne à souffler avec force, les processus vocaux s'écartent ; pour empêcher cet écartement qui gêne l'émission de sons aigus, il faut avec un fil attacher ensemble les deux apophyses vocales :

ainsi on remplace l'action du muscle crico-aryténoïdien latéral.

Puis est-il besoin de rappeler que l'ary-aryténoïdien rapproche les cartilages aryténoïdes par un mouvement de translation directe, tandis que les crico-aryténoïdiens latéraux leur font décrire ce qu'on est convenu d'appeler un déplacement en mouvement de sonnette?

Quelques auteurs, Illingworth[1] entre autres, confondent les crico-aryténoïdiens latéraux avec les thyro-aryténoïdiens sous la dénomination commune de *sphincter de la glotte*.

Ainsi l'auteur anglais n'admet dans le larynx que cinq muscles :

1° Le sphincter de la glotte ;

2° et 3° Les crico-thyroïdiens ;

4° et 5° Les crico-aryténoïdiens postérieurs.

Par sphincter de la glotte, il entend la masse des muscles qui s'étendent du bord des replis aryténo-épiglottiques au bord supérieur du cartilage cricoïde, et embrassent en arrière les aryténoïdes, renfermant ainsi les aryténo-épiglottiques, les thyro-aryténoïdiens, les crico-aryténoïdiens latéraux, et l'ary-aryténoïdien qui sont tous en continuité plus ou moins directe.

Je considère cette opinion comme peu vraisemblable, et j'attribue au crico-aryténoïdien latéral une indépendance complète de contraction. Au reste, on verra plus loin que dans la voix de tête, tandis que le thyro-aryténoïdien se relâche, lui continue à se contracter parfaitement.

1. Illingworth. *The Physiology of the Larynx*, in *The Lancet*, 1879. t. I, p. 879.

III. — ACTION DU MUSCLE CRICO-ARYTÉNOÏDIEN POSTÉRIEUR

A. — C'est le dilatateur de la glotte.

Ruehlmann[1] a montré que ce muscle pouvait être considéré comme formé de deux moitiés : l'une large, située à la partie externe, dont les fibres sont presque verticales; l'autre, située en dedans dela première, de volume beaucoup moindre et dont les fibres ont une direction de plus en plus horizontale à mesure qu'elles se rapprochent du bord libre. De là une double fonction : la portion externe verticale fait latéralement glisser en dehors et en bas les aryténoïdes sur la surface articulaire oblique du cricoïde; la portion horizontale tire en dedans l'apophyse postérieure de l'aryténoïde et, la faisant pivoter, dirige en dehors le processus vocal.

Hayes[2] regarde les portions externes des abducteurs comme les *muscles de l'inspiration ordinaire* tandis que les parties internes n'agissent que dans les cas exceptionnels et méritent le nom de *muscles de l'inspiration forcée;* dans ce cas la glotte prend une forme pentagonale : dans le premier cas elle demeure triangulaire.

En saine philosophie anatomique, il y a lieu en effet d'admettre que le crico-aryténoïdien postérieur est composé de deux muscles distincts; de sorte que

1. Ruehlmann. *Sitzungsber. d. Wiener Acad.*, t. LXIX, 1873.
2. R. A. Hayes. *On the action of the posterior crico-arytænoid muscles*, in *Dublin Journal of Med. Scienc.*, 1er mars 1881.

les mouvements d'ouverture et de fermeture de la glotte sont commandés par deux paires de constricteurs et deux paires de dilatateurs.

Quand les cartilages aryténoïdes se déplacent par simple mouvement de translation latérale, l'ary-aryténoïdien qui les attire en dedans a pour antagoniste la portion verticale du crico-aryténoïdien postérieur qui les attire en dehors : lorsque, au contraire, les aryténoïdes pivotent autour de leur axe vertical, le crico-aryténoïdien latéral qui les porte en dedans lutte contre la portion horizontale du crico-aryténoïdien postérieur qui les tourne en dehors.

Cependant Spitta[1] refuse d'admettre les mouvements de rotation, et les mouvements antéro-postérieurs des aryténoïdes. A l'aide d'un appareil métallique figurant un larynx avec des muscles en caoutchouc, il essaie de démontrer que la glotte n'est ouverte ou fermée que par des mouvements de latéralité des aryténoïdes. Je me suis déjà expliqué sur la valeur qu'il convient d'attribuer à des démonstrations faites à l'aide d'instruments nécessairement défectueux.

B. — En donnant d'habitude aux crico-aryténoïdiens postérieurs le nom de *muscles respirateurs*, on se plait, dans les traités classiques, à les mettre en opposition avec les autres muscles dits phonateurs, et à affirmer par cela même qu'ils sont essentiellement antagonistes de toute contraction musculaire pouvant servir à la production de la voix. Or il paraît que quand la glotte est en état d'accommodation vocale, l'action du muscle

1. Spitta. *The Lancet*, 30 octobre 1875.

crico-aryténoïdien postérieur se modifie, et vient en aide à celle des autres muscles du larynx. Jelenffy[1], à qui je laisse la responsabilité entière de cette démonstration, a vu que dans un cas de paralysie unilatérale de ce muscle, la corde vocale correspondante était plus courte; il en conclut que ce muscle sert à tendre la corde vocale, et il essaie de le démontrer de la façon suivante.

Il faut tout d'abord faire remarquer qu'il est indispensable que les aryténoïdes soient intimement fixés sur le cricoïde. Nous savons que les cordes vocales doivent être tendues par un déplacement de leurs insertions antérieures; or, il importe qu'au moment de leur tension, les aryténoïdes, qui normalement forment la partie la plus mobile du larynx, soient strictement immobilisés, sans quoi ils seraient attirés en avant à chaque contraction des muscles tenseurs.

Or, de quelle manière cette fixation des aryténoïdes se produit-elle? Merkel, Bruecke, Luschka chargent de cette fonction le ligament de l'articulation crico-aryténoïdienne. Or Jelenffy démontre que ces ligaments sont absolument incapables de jouer ce rôle.

Les aryténoïdes (a, a') qui en A (Fig. 4) ont la position respiratoire, prennent en B (Fig. 5) la position vocale en se déplaçant de telle façon que tous leurs points se rapprochent du chaton du cricoïde (b, b'); les processus vocaux décrivent le chemin le plus étendu. Or, dans ce mouvement, les ligaments qui partent tous du chaton du cricoïde se trouvent relâchés, et justement ceux qui se trouvent le plus déten-

1. Jelenffy. *Ueber die Fixation der Giessbeckenknorpel während der Phonation*, in *Wiener mediz. Wochenschrift*, 1873, p. 52 et suiv. nos 3 et 4.

dus sont ceux qui correspondent à l'apophyse vocale, la partie des aryténoïdes qui cependant réclame l'immobilisation la plus complète

Qu'est-ce donc qui immobilise les aryténoïdes? C'est l'*action simultanée des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs et crico-aryténoïdiens latéraux.*

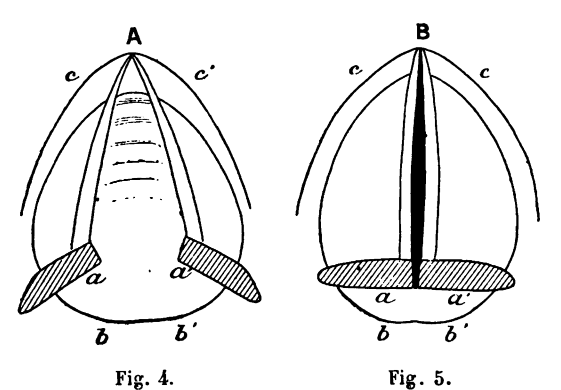


Fig. 4. Fig. 5.

(D'après Jelenffy.)

Hyrtl, Henle avaient en partie entrevu ce fait : mais Jelenffy en donne une démonstration complète.

Il est avant tout un fait anatomique qui dans l'espèce est de la plus haute importance : c'est que l'insertion aryténoïdienne du crico-aryténoïdien postérieur se trouve *en dedans* de celle du crico-aryténoïdien latéral. Or, grâce à cette particularité, les muscles laryngiens essentiellement adverses dépouillent leur antagonisme et agissent de concert malgré leur naturelle opposition de fonctions.

Ces mouvements demandent à être analysés.

Soient EH, EC les aryténoïdes en position vocale. (Fig. 6).

Les aryténoïdes sont soumis aux forces EF, AB et CD.

AB représente l'action du crico-aryténoïdien postérieur qui tire l'apophyse musculaire en bas, en dedans et en arrière.

CD représente l'action du crico-aryténoïdien latéral

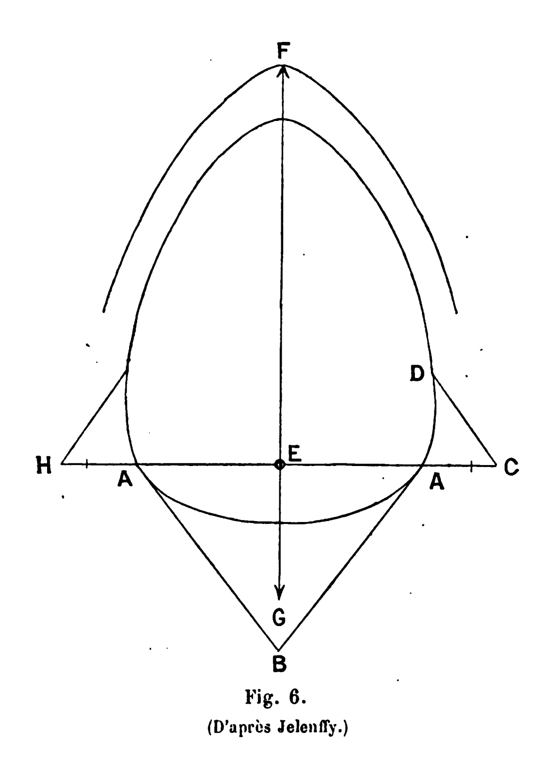


Fig. 6.
(D'après Jelenffy.)

qui tire l'apophyse musculaire en bas, en dedans et en avant.

EF est la force de tension qui tend à entraîner en avant les aryténoïdes.

Il s'agit de trouver une force antagoniste EG qui tirant en arrière les aryténoïdes, les immobilise.

Faisons maintenant agir en même temps les forces

AB, CD et EF. L'aryténoïde sera alors transformé en un levier du premier genre dont le point de rotation est fixé en A par l'action du crico-aryténoïdien postérieur. AC sera le petit bras, AE le grand bras du levier, CD sera la force, EF la résistance. L'action du crico-aryténoïdien latéral tendra donc à porter le point E vers le point G : c'est donc lui qui fournit la force EG antagoniste de la force de tension EF des cordes vocales.

Mais qu'on vienne à supprimer l'action AB du crico-aryténoïdien postérieur ; dès lors le point d'appui est supprimé : l'aryténoïde cesse d'être un levier et se transforme en une simple barre aux deux extrémités de laquelle sont appliquées des forces qui la tirent d'arrière en avant.

De tout ce qui précède, Jelenffy tire la conclusion suivante, sur laquelle je veux attirer l'attention :

Dans l'action simultanée des crico-aryténoïdiens latéraux et postérieurs, les crico-aryténoïdiens postérieurs, qui normalement sont des dilatateurs de la glotte, agissent au contraire comme constricteurs, et *concourent ainsi directement à l'accommodation vocale du larynx.*

Mais alors, comment comprendre que, en pathologie, les paralysies doubles des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs n'altèrent presque jamais la voix?

§ IV. — ACTION DU MUSCLE CRICO-THYROÏDIEN

Le crico-thyroïdien est le muscle phonateur par excellence. Son rôle de tenseur des cordes vocales est aujourd'hui incontesté. C'est le muscle du chanteur : c'est lui, dit Martel, qui remplace les touches du piano

ou les doigts de l'instrumentiste, car du degré de sa contraction dépend la hauteur de la voix. Le dynamomètre qui mesure sa force s'appelle la gamme.

Mais si l'accord est fait sur son but final, les opinions les plus diverses règnent au sujet de son jeu physiologique.

Hooper [1] divise en six groupes les physiologistes qui ont fixé leur attention sur ce muscle; [j'emprunte le résumé de son travail à une analyse qui en a été publiée par le Dr Rattel dans les *Annales des maladies de l'oreille et du larynx* (Année 1883, p. 293)].

« I. — Ceux qui admettent qu'il imprime au cartilage thyroïde, un mouvement en avant et de haut en bas sur le cricoïde. C'est la théorie la plus généralement admise, celle que l'on trouve dans tous les traités d'anatomie et de physiologie — à l'exception toutefois de la 9e édition du livre de Quain, récemment parue; — dans Galien, Casserius, Gray, Hyrtl, Henle, Meyer, Meckel, Hartmann, Cruveilhier, Sappey, Duval, Carpenter, Hemley, Todd et Bowmann, Foster, Hermann et autres; et chez les laryngologistes Türck, Störk, Mackenzie, Schrötter, et Seiler.

« II. — Ceux qui affirment qu'il élève le cricoïde vers le thyroïde (Cowper, 1724; Magendie, 1817; Lauth, 1835; Bishop, 1839; Longet, 1841; Cuvier, 1846; Harless, 1853; Bataille, 1861; Fournié, 1866; Jelenffy, 1873; Schech, 1873; Schmidt, 1873; Milne-Edwards, 1876; Cohen, 1880; Elsberg, 1882; Quain, 9e édition d'Anatomie).

1. F.-H. Hooper. *Experimental researches on the tension of the vocal bands*, in *Boston. Harward's Med. School*, 1883.

« III. — Ceux qui maintiennent qu'il meut les deux cartilages en même temps, et principalement le thyroïde (Vésale, Merkel, Theile, Harwison).

« IV. — Ceux qui disent que l'action du muscle est variable, selon que l'un ou l'autre cartilage est fixé. Quand le cricoïde est le point fixé, c'est le thyroïde qui se meut, et vice versa (Budge, Biegel, Mandl).

« V. — Ceux pour qui le muscle n'a d'autres fonctions que de retenir dans une position fixe les cartilages, quand ils sont écartés l'un de l'autre (Vierordt, Luschka).

« VI. — La sixième classe ne présente qu'un intérêt historique. Brown (1683) disait que « le muscle, en se contractant, allonge le cartilage cricoïde et ouvre ainsi la glotte pour la production de sons plus éclatants et plus bas. » Dionis (1695) considère que l'action du muscle est de dilater les côtés du thyroïde et conséquemment d'élargir la glotte. Haller (1766) acceptait cette hypothèse et croyait de plus qu'il rapprochait les deux cartilages. »

De toutes ces opinions une seule est vraie, celle qui admet l'élévation du cricoïde vers le thyroïde immobilisé. Martel[1] à l'aide de tracés graphiques en a donné une ingénieuse démonstration. Par une disposition spéciale, chaque cartilage est pourvu d'un stylet inscripteur qui se meut sur un cylindre tournant. Durant la respiration normale, les deux cartilages restent à une distance constante l'un de l'autre; les deux lignes T et C sont parallèles. Durant la phonation, le cricoïde monte, et se rapproche d'autant plus du thyroïde que la note émise est plus élevée : sur le graphique on voit la ligne T inscrite par le thyroïde

1. Martel. *Étude expérimentale sur les fonctions du muscle thyro-cricoïdien*, in *Archives de Physiologie*, 1883. t. I, p. 582.

demeurer horizontale, tandis que la ligne C, tracée par

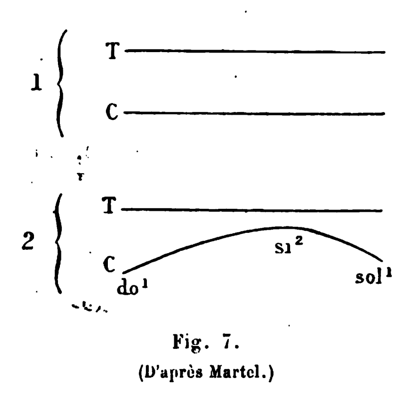


Fig. 7.
(D'après Martel.)

le cricoïde, se rapproche plus ou moins de la précédente.

Le mécanisme de la tension des cordes vocales par la constriction des crico-thyroïdiens est le suivant.

La première condition nécessaire à la production de la voix, est la fixation de l'os hyoïde. Bennati[1] a le premier attiré l'attention sur ce point. « Si les muscles de l'os hyoïde étaient coupés, dit-il, ou seulement paralysés, le larynx, abandonné à l'action de ses propres muscles, n'arriverait qu'à la phonation, en ne produisant plus que des sons imparfaits et monotones, d'une moindre intensité et d'un timbre fêlé. » — Cette fixation de l'os hyoïde entraîne, ainsi que l'a démontré Meckel, la contraction du muscle thyro-hyoïdien.

Le crico-thyroïdien, se contractant alors, tendra à rapprocher l'une de l'autre les parties antérieures des cartilages thyroïde et cricoïde; mais le cartilage thyroïde est absolument immobilisé par la contraction

1. Bennati. *Etudes physiologiques et pathologiques sur les organes de la voix humaine.* Paris, 1833, p. 33.

simultanée des thyro-hyoïdiens; le cricoïde, au contraire, qui ne reçoit aucune insertion du muscle extrinsèque, n'est retenu que par la trachée, qui se laisse aisément distendre dans une certaine mesure; il est donc tout naturel que le crico-thyroïdien prenant son point fixe sur le thyroïde immobilisé, attire en haut la partie antérieure du cricoïde et lui imprime un mouvement de bascule qui porte en bas et en arrière sa moitié postérieure. Or, on sait qu'au moment de la phonation, grâce à la contraction simultanée des muscles péri-aryténoïdiens, les aryténoïdes sont intimement fixés au chaton du cricoïde; celui-ci les entraînant dans son mouvement de descente les porte du même coup en arrière; et éloignant ainsi les insertions postérieures des cordes vocales de leurs insertions antérieures fixes, il tend les lèvres de la glotte.

Telle est actuellement l'opinion courante en physiologie.

Cependant quelques auteurs ont étudié ce muscle plus à fond et même décomposé son action. Henle, Luschka[1] lui décrivent deux portions, l'une verticale (*musc. crico-thyr. rectus*) agissant verticalement, l'autre oblique (*musc. crico-thyr. obliquus*) tirant le cricoïde d'avant en arrière.

Jelenffy[2], dans une savante monographie, divise les forces de ce muscle en trois composantes; ses recherches sont déduites des points d'insertion et de

1. Cités dans le *Handbuch der Physiologie* de Hermann, t. Ier, 2e part. p. 44.

2. Jelenffy. *Der musculus crico-thyreoideus*, in *Archiv. für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere.* Band VII, Heft 1. Bonn, 1873, p. 77-90.

la direction des diverses fibres de ce muscle, et elles sont vérifiées par des manipulations externes pratiquées sur le larynx qui parle.

Il a d'abord fait les remarques suivantes :

1° Plus le son monte, plus l'angle du thyroïde se ferme;

2° Plus le son monte, plus l'espace crico-thyroïdien se rétrécit;

3° A chaque haussement de ton, non seulement le cricoïde s'élève, mais aussi il se porte en arrière en se rapprochant de la colonne vertébrale.

Comment expliquer ces faits? Le crico-thyroïdien naît de la face antéro-externe du cricoïde des deux côtés de la ligne médiane, et il va s'insérer en se dirigeant en haut, en arrière et en dehors, au bord inférieur du thyroïde, et *surtout par un grand nombre de fibres à sa face interne.*

On peut de là diviser l'action de ce muscle en trois forces :

A. *Une verticale*, agissant de bas en haut;

B. *Une horizontale*, agissant dans le sens antéro-postérieur;

C. *Une transversale* agissant de dehors en dedans.

La *composante* A, la mieux connue, élève en avant le cricoïde mobile vers le thyroïde immobilisé par la contraction de muscles thyro-hyoïdiens.

La *composante* B, dirigée dans le sens antéro-postérieur, en se raccourcissant tire le thyroïde en avant et le cricoïde en arrière; les deux cartilages se meuvent simultanément, car ici il n'y a point d'insertion fixe. Le mouvement est limité seulement par la tension des ligaments crico-thyroïdiens latéraux. Cette com-

posante B, portant en masse le cricoïde en arrière, concourt directement à la tension des cordes vocales. Elle a pour antagoniste immédiat le muscle constricteur inférieur du pharynx.

La *composante* C, formée surtout par les fibres obliques qui s'insèrent à la face interne des lames du thyroïde, prend son point d'insertion fixe sur le cricoïde; en se contractant, elle rapproche les lames du thyroïde et ferme son angle. A quoi peut servir ce mouvement? Il est aisé de concevoir que, du moment où les dimensions transversales du larynx se rétrécissent, ses dimensions antéro-postérieures doivent proportionnellement s'accroître : or, comme le thyroïde est solidement fixé en arrière grâce à la lutte qui s'établit entre la composante B et le constricteur inférieur du pharynx, il s'en suit que l'angle antérieur se porte en avant, entraîne avec lui les insertions antérieures des cordes vocales et finalement tend celles-ci.

Les manipulations externes du larynx viennent à l'appui de cette théorie.

a. — Si pendant qu'on chante, on élève avec le doigt le cricoïde, le son monte (renforcement de la composante A).

b. — De même le son monte si l'on vient à pousser en arrière le cricoïde (renforcement de la composante B).

c. — Le son monte encore si l'on vient à rapprocher les deux lames du thyroïde (renforcement de la composante C).

(Voir à ce sujet l'expérience XXI de mes recherches sur les larynx de cadavre.)

Il y a lieu de tenir grand compte de cette compo-

sante C : chez le vieillard l'ossification des cartilages du larynx, en immobilisant l'angle thyroïdien, diminue de beaucoup l'étendue de la voix.

Mais Jellenfy a tort de dire que la composante C n'a pas d'antagoniste direct, et que, quand elle cesse d'agir, le cartilage thyroïde, par sa seule élasticité, revient à sa position première. Il y a en réalité un muscle qui tend à ouvrir l'angle du thyroïde : c'est le sterno-thyroïdien, dont la fonction a été mise en lumière il y a plus de cinquante ans par Bennati[1].

Le larynx, pendant l'émission des sons graves, est fortement tiré en bas par la contraction du sterno-thyroïdien; or, en même temps qu'il exerce cette traction, ce muscle rend plus obtus l'angle du thyroïde.

Il suffit, pour comprendre cette action, de remarquer que la face externe de ce cartilage au milieu de laquelle il s'insère suivant une ligne oblique de bas en haut, présente un plan incliné de haut en bas et de dehors en dedans, de sorte que le bord supérieur de chacune des ailes de ce cartilage est plus externe et plus antérieur que le bord inférieur. Le sterno-thyroïdien, agissant ainsi dans une direction oblique au plan sur lequel il s'attache, doit avoir pour effet d'augmenter l'obliquité de ce plan, et par conséquent d'élargir l'angle thyroïdien.

La théorie de Jelenffy a trouvé un critique fort sevère dans Michael[2] qui combat surtout l'action de la composante B. Il croit que le déplacement d'avant en ar-

1. Bennati. *Mémoire sur un cas particulier d'anomalie de la voix humaine pendant le chant.* Paris, 1834.

2. Michael. *Zur Physiologie und Pathologie des Gesanges*, in *Berliner klinische Wochenschrift*, 1876, nos 36 et 37, p. 520 et 534.

rière du cricoïde est extrêmement limité par la tension des ligaments kérato-cricoïdiens. D'après ces recherches sur le cadavre, il décrit de la façon suivante le mécanisme de cette tension. Pendant l'émision des notes élevés, nécessitant l'extension de la tête, le larynx tiré en haut par les thyro-hyoïdiens, en bas par les sterno-hyoïdiens, s'écarte de la colonne. Il se comporte alors comme une corde tendue. Si l'on vient à exercer une pression d'avant en arrière sur le cricoïde, il se déplace en masse, se courbe à convexité postérieure, et rapproche en avant les deux cartilages, d'où résulte une tension de cordes vocales. Cette tension ne peut se produire si l'on déplace le larynx en exerçant une pression d'avant en arrière sur la pomme d'Adam, car il y a alors écartement des lames du thyroïde et abaissement du diapason de la voix.

A l'aide de cette pression manuelle on peut élever de quelques notes la voix d'un chanteur.

Soit une voix de basse qui s'étend du MI_1 au MI_3 ; grâce à une pression antéro-postérieure exercée sur le thyroïde elle atteint le SOL_3 .

De même une voix de baryton qui s'étend du SOL_1, au FA_3 monte par la pression au SI_3 .

Un mezzo soprano étendu du LA_2 au SI_4 atteint l'UT_5 .

Un soprano, qui normalement va du $RÉ_3$ à l'UT_5 , peut donner le $RÉ_5$.

En revanche, dit Michael, dans les sons graves, où la tête est penchée en avant, la pression cricoïdienne abaisse la voix. Car alors le cricoïde, reposant sur la colonne vertébrale, est aplati d'avant en arrière : en raison de l'obliquité de son chaton il repousse en haut

les aryténoïdes, d'où rapprochement en arrière ; éloignement en avant de deux cartilages thyroïde et cricoïde et finalement relâchement des cordes vocales.

Quelle que soit au fond l'idée qu'on se fasse du mécanisme de l'action complexe du crico-thyroïdien, il n'en reste pas moins démontré pour tous que ce muscle est le tenseur par excellence des cordes vocales. Aussi on peut s'étonner de voir un physiologiste anglais, Illingworth[1], se refuser à admettre qu'il y ait une tension longitudinale des cordes vocales par action musculaire pendant la vocalisation. La gamme vocale serait due aux contractions d'un anneau musculaire qu'il décrit sous le nom de *sphincter de la glotte*, et dont j'ai indiqué plus haut la structure en parlant de l'action du muscle crico-aryténoïdien latéral; le crico-thyroïdien aurait alors pour rôle unique d'immobiliser le levier aryténo-cricoïdien, et d'empêcher ainsi les aryténoïdes d'être portés en avant par la contraction du sphincter glottique.

Sous l'influence de la contraction du crico-thyroïdien, la corde vocale s'allonge à mesure qu'elle se tend; il s'ensuit qu'elle est d'autant plus longue que sa tension musculaire est plus forte et que le son qu'elle émet est plus élevé. Ce fait paradoxal est en opposition flagrante avec les lois de l'acoustique qui veulent qu'à mesure qu'une corde augmente de longueur, le nombre de ses vibrations diminue d'une quantité proportionnelle. Mais il n'y a pas lieu ici de tenir compte de cette règle, attendu que la note émise par la corde vocale dépend presque exclusivement de son degré de ten-

1. Illingworth. *The physiology of the larynx*, in *The Lancet*, année 1879, t. I, p. 879.

sion. Au reste les modifications de longueur des bandes vocales sont presque insignifiantes. L'allongement apparent qu'on observe au laryngoscope est bien plus marqué que l'allongement réel. Celui-ci étant d'environ une ligne au plus (Gordon-Holmes[1]), s'exagère à l'examen du vivant ; car dans les sons graves l'épiglotte cache une moitié de la glotte ; dans le médium le tubercule de Czermak recouvre l'extrémité antérieure des cordes vocales qui n'apparaissent entières que dans les notes élevées du registre de poitrine.

B.— Outre sa fonction incontestable de tenseur des cordes vocales, le crico-thyroïdien possède encore une autre action : il est *constricteur de la glotte membraneuse.*

Déjà en 1791, von Kempelen avait dit que chaque fois que la tension des cordes vocales augmente, il y a diminution de l'espace interglottique : mais il ne semble pas qu'il attribuât cette action plutôt au crico-thyroïdien qu'au thyro-aryténoïdien. De nos jours cette fonction accessoire a été mise en lumière.

Quand on opère sur un larynx de cadavre dont les aryténoïdes on été rapprochés, on remarque qu'à mesure que les cordes vocales sont tendues davantage longitudinalement, elles se redressent en effaçant peu à peu leur convexité ; à mesure qu'on augmente les poids qui exercent une traction verticale sur l'angle des thyroïdes, on voit la glotte interligamenteuse se fermer de plus en plus : finalement les cordes vocales viennent tout à fait en contact quand un haut degré de

1. Les cordes, par l'effet de la tension longitudinale peuvent s'allonger d'un peu moins de 5 millimètres chez l'homme, et de 3 millimètres chez la femme (Mueller).

tension longitudinale a été atteint ; ce qui démontre que la contriction glottique est ici due à la contraction du muscle crico-thyroïdien.

Enfin Michael, qui a également bien étudié ce fait, ajoute que, par suite d'une insuffisante fixation des aryténoïdes, le crico-thyroïdien peut devenir *dilatateur de la glotte entière*, puisqu'il exerce sur les apophyses vocales une traction d'avant en arrière et de dedans en dehors : en cela il suit l'action du muscle crico-aryténoïdien postérieur.

C. — Dans un mémoire que j'aurai à analyser plus tard, quand je traiterai de l'aphonie par paralysie du nerf vague, Moeser[1] attribue encore au crico-thyroïdien d'autres fonctions que j'indique brièvement.

Le crico-thyroïdien entre surtout en jeu pendant l'émission des sons élevés ; il tend les cordes vocales, abaisse leur extrémité postérieure, et luttant contre l'action produite par l'élévation du larynx, il amène une tension extrême de toute la muqueuse laryngée, *tend les cordes vocales supérieures, tend les replis aryténo-épiglottiques*, attire en arrière l'épiglotte, se mettant en antagonisme direct avec les muscles releveurs qui cherchent à l'amener en haut et en avant, et enfin ouvre les ventricules de Morgagni. En tendant ainsi la muqueuse, il dégage complètement la corde vocale et lui donne plus de force pour vibrer.

D. — En résumé, le crico-thyroïdien est l'agent essentiel de la tension longitudinale active des cordes vocales, et peut, par sa seule contraction, produire les différentes notes de la gamme.

1. H. Moeser. *Das laryngoskopische Bild bei vollkommener einseitiger Vagus-paralysie*. Wiesbaden, 1885.

Je veux, en terminant, attirer l'attention sur une particularité spéciale de son fonctionnement à laquelle j'attache une grande importance. Quand, sur un larynx de cadavre, on opère l'abaissement forcé de l'angle du thyroïde, de manière à imiter au maximum l'action du crico-thyroïdien, on produit une tension extrême des cordes vocales ligamenteuses, mais on *ne tend pas le muscle thyro-aryténoïdien* qui reste mou et flasque.

Il en résulte que, chez le vivant, quand le thyro-aryténoïdien ne se contracte pas, le crico-thyroïdien n'éprouve de résistance à sa contraction que de la part de l'élasticité des cordes ligamenteuses, et n'a nullement à lutter contre la tonicité du muscle thyro-aryténoïdien. Je signale ce petit détail d'expérimentation qui semble en ce moment quantité négligeable, mais qui, plus tard, me sera d'un grand secours dans l'édification de la théorie de la voix de fausset.

§ V. — ACTION DU MUSCLE THYRO-ARYTÉNOÏDIEN

Il n'y a pas à se dissimuler qu'à l'heure actuelle une certaine confusion règne encore dans la science au sujet du rôle exact de ce muscle. La faute en est, je crois, aux descriptions anatomiques, compliquées à plaisir, qu'on en a faites, à l'instar de ces terres inconnues où chaque nouvel explorateur croit découvrir un cap ou un golfe et le baptise. A mesure qu'on lui trouvait de nouveaux faisceaux, il fallait nécessairement leur attribuer un rôle distinct; tout auteur qui cherchait à éclairer son rôle l'obscurcissait encore

davantage. Je mentionnerai surtout Battaille[1], qui consacre sept lignes au muscle crico-thyroïdien, et écrit huit pages sur le thyro-aryténoïdien : et quand il lui a découvert des faisceaux grêle, plan, paraboloïde, médian ou arciforme, qu'il l'a nommé muscle triceps laryngien, après avoir promené le lecteur dans une série de labyrinthes anatomiques où il a peine à se reconnaître, il déclare n'avoir eu d'autre but que de jeter une grande clarté sur ce point de la science. En Allemagne, Rossbach[1] tombe dans le même défaut en décrivant dans ce muscle de nombreux faisceaux successifs, qui auraient pour rôle de clore progressivement la glotte, ce qui est invraisemblable.

Après ce que je viens de dire, je ne pourrais sans me déjuger prétendre vouloir expliquer en toute clarté l'action de ce muscle : aussi ne chercherai-je pour le moment qu'à la simplifier.

Il y a en réalité deux muscles thyro-aryténoïdiens : l'interne et l'externe. Le premier appartient à la corde vocale inférieure et la modifie : le second accommode la cavité résonnante des ventricules laryngés. Le premier est un *muscle de diapason*, le second un *muscle de timbre*. Or comme je ne m'occupe ici que de la hauteur de la voix, c'est de l'interne seul qu'il sera maintenant question.

Le thyro-aryténoïdien interne était le *musculus vocalis* des anciens, le phonateur par excellence, aujourd'hui détrôné par le crico-thyroïdien. Longtemps on a cru, et nombreux sont encore ceux qui le croient

1. Ch. Battaille. *Nouvelles recherches sur la phonation*. Paris, 1861, p. 4.

2. Rossbach. *Physiologie und Pathologie der mensch. Stimme*. Würzburg, 1869.

aujourd'hui, qu'il tend les cordes vocales, qu'il se durcit pour vibrer; et on a admiré cette anche intelligente qui se met d'elle-même au degré de tension nécessaire au nombre de vibrations voulu : or, il faut rabattre beaucoup de ces fonctions qui tiennent du merveilleux.

Le professeur Béclard[1] résumait ainsi, il y a vingt ans, l'opinion qui avait cours à cette époque :

« Les muscles thyro-aryténoïdiens ont une action complexe et des plus importantes en ce qui concerne la phonation. Ils ont d'abord une action commune avec les crico-aryténoidiens latéraux et l'ary-aryténoidien. Ils concourent avec eux à placer la glotte dans les conditions de la phonation, c'est-à-dire qu'ils contribuent pour leur part au rapprochement des cordes vocales inférieures. Leur contraction a encore pour effet (principalement par le faisceau thyro-aryténoïdien interne) de rapprocher le cartilage aryténoïde du thyroïde, autant que peut le permettre la cavité de l'articulation crico-aryténoïdienne. De plus leur contraction étant accompagnée du gonflement du muscle, ils augmentent au moment où ils se contractent l'épaisseur de la corde vocale inférieure et modifient les conditions physique des parties vibrantes. Ce gonflement, qui peut être plus ou moins considérable et progressif contribue puissamment avec la contraction des autres muscles qui concourent à la tension des cordes vocales à déterminer la hauteur du son. Les changements qu'ils apportent aux conditions physiques des cordes vocales influent d'une manière directe sur le timbre de

1. Béclard. Art. LARYNX (*Anatomie et physiologie*) in *Dict. encyclop. des sc. med.*, 2e série, t. 1er, p. 541.

la voix. En somme, les muscles thyro-aryténoïdiens sont en définitive, par leur faisceau interne, *tenseurs* des cordes vocales, mais des tenseurs d'une espèce toute particulière. Ils exercent principalement leur action tensive par une sorte de gonflement de la portion vocale du muscle; ce qui distingue essentiellement l'*anche vivante* de toutes les anches possibles, même des anches membraneuses élastiques qui ne se tendent qu'en s'amincissant. »

Il était donc généralement admis que thyro-aryténoïdien est tenseur des cordes vocales. Cependant quand une longue pratique du laryngoscope eût fait connaître les différentes particularités des paralysies motrices des muscles du larynx, on ne tarda pas à s'apercevoir que les idées anatomiques reçues jusqu'alors s'accordaient parfois mal avec les données de l'observation pathologique. Les premières thèses qui en France traitèrent de ce sujet, eurent à surmonter de grandes difficultés provenant de cette opposition entre l'ancienne physiologie et la pathologie plus jeune. Comment en effet attribuer le même pouvoir de tendre la corde vocale au crico-thyroïdien et au thyro-aryténoïdien, dont la disposition anatomique est toute différente, et dont les paralysies amènent des phénomènes dysphoniques d'ordre tout à fait distinct ? Poyet[1] tranche par trop simplement la difficulté en déclarant que le muscle crico-thyroïdien n'est jamais paralysé. Mais Tissot[2] qui admet et les paralysies du crico-thyroïdien et celles du thyro-aryténoïdien, a grand'peine à rester fidèle à la doctrine physiologique classique en

1. G. Poyet. *Des paralysies du larynx*. Paris, 1877.
2. A. Tissot. *Des paralysies laryngees*. Paris, 1876.

voulant déterminer le rôle respectif de ces deux muscles tenseurs de la glotte, et il aboutit à une confusion extrême. Je cite quelques passages de sa thèse où cette version est développée : il est aisé de sentir la peine visible qu'il éprouve à se maintenir d'aplomb dans sa théorie où il s'embourbe davantage à chaque pas.

« Les cordes par suite des modifications qui leur sont imprimées peuvent varier l'intensité ou la hauteur du son. Tout le mécanisme réside dans les deux muscles phonateurs par excellence, le *thyro-aryténoïdien* et le *crico-thyroïdien*. Battaille et Longet les premiers ont démontré que le faisceau interne du thyro-aryténoïdien qui se distribue dans l'épaisseur des cordes vocales affectait une disposition toute particulière. Il envoie dans l'épaisseur des cordes de petits faisceaux sous forme de cordages, rayonnant de la base vers leur bord libre. Ces petits faisceaux émanés en divers sens tantôt en avant, tantôt en arrière, quelquefois perpendiculairement à l'axe longitudinal de la corde, mais affectant tous une direction transversale par rapport au diamètre transversal des cordes, les antérieurs et les postérieurs obliques en avant et en arrière, les moyens transversaux, jouent un très grand rôle dans le plus ou moins de longueur des cordes. Comme ces faisceaux ont par leur contraction l'unique but de tendre la corde vocale, il en résulte que suivant que ce muscle se contracte dans son ensemble ou que la contraction se porte isolément sur le groupe antérieur, moyen ou postérieur, la corde se trouve tendue dans son ensemble ou partiellement et par suite la longueur de la partie vibrante augmente ou diminue, d'où la variation dans l'intensité. En résumé,

comme la hauteur du son dépend du nombre de vibrations, et que celles-ci sont en raison inverse de la longueur des cordes, le faisceau interne du thyro-aryténoïdien par suite de la disposition anatomique qui lui est particulière est capable comme le doigt d'un violoniste de faire varier suivant la quantité de ses fibres contractées la longueur de la partie vibrante des cordes et de faire varier par cela même le nombre de leurs vibrations. Voilà comment la hauteur du son est modifiée et modulée à l'échelle diatonique. — Le *crico-thyroïdien* à lui seul est capable d'imprimer aux cordes des modifications tellement importantes pour la production du son qu'il joue le plus grand rôle dans l'acte de la phonation. Sa paralysie entraînera à elle seule l'aphonie la plus complète et même jusqu'au chuchotement. Nous avons vu, en effet, que la hauteur d'un son dépend non seulement de la longueur des cordes vocales, mais du poids qui les tend. Ce muscle, comme les clefs d'un violon, suivant l'énergie de sa contraction fait basculer le thyroïde sur le cricoïde et amène ainsi une tension plus ou moins considérable des cordes. — Mais il ne tend pas seulement les cordes : aidé du thyro-aryténoïdien, il modifie aussi leur longueur et leur diamètre. Si le muscle thyro-aryténoïdien est un muscle phonateur parce qu'il influe sur la longueur et le diamètre des cordes, le crico-thyroïdien l'est aussi par excellence. Il joue un plus grand rôle que celui-ci, puisque c'est de lui que dépend toute la tension des cordes et en partie leur longueur et leur changement de diamètre. La paralysie de ce muscle abolit par elle seule toutes les conditions physiologiques de la phonation, mieux que ne le ferait la paralysie du thyro-aryté-

noïdien. Aussi entraîne-t-elle toujours l'aphonie la plus complète, n'abolissant pas seulement les conditions physiologiques qui président à la hauteur du son, mais celles aussi qui président à son intensité, attendu que le nombre et l'amplitude des vibrations se trouvent aussi modifiés. Bien que ces anomalies puissent être communes à la paralysie du thyro-aryténoïdien, la paralysie du crico-thyroïdien a des effets beaucoup plus accentués. Ces deux muscles, avons-nous dit, sont phonateurs par excellence, parce qu'ils remplissent les deux qualités importantes du son fondamental : hauteur et intensité. »

Cependant cette théorie régnante, que le thyro-aryténoïdien tend les cordes vocales, était depuis longtemps minée par une autre, à savoir qu'il les relâche.

Haller jadis avait dit que ce muscle en se contractant se raccourcit et rapproche les aryténoïdes de l'angle rentrant du cartilage thyroïde.

Mueller[1] avait conclu de ses expériences sur le cadavre que ce muscle possédait deux actions distinctes :

Il faisait d'abord remarquer qu'en se contractant le thyro-aryténoïdien concourait à détendre les cordes vocales et à *produire les sons graves ;* puisqu'en même temps, il rétrécissait la partie inférieure de l'isthme sous-glottique et *augmentait la hauteur du son* (de même qu'un bouchon enfoncé dans le porte-vent, immédiatement au-dessous d'une languette membraneuse, et muni d'une étroite ouverture à son centre, rend le son plus élevé qu'il ne le serait avec la même

1. Mueller. *Manuel de physiologie,* Traduct. Jourdan, t. II, p. 183.

longueur de porte-vent dépourvu de bouchon). De sorte qu'il y a lieu de croire que Mueller n'attachait pas une grande importance au raccourcissement des cordes vocales par contraction du thyro-aryténoïdien.

Il faut arriver à notre époque pour trouver cette fonction nettement définie.

Ruehlman[1] en 1874 enseigne que le muscle thyro-aryténoïdien détend la corde vocale inférieure (ligamenteuse) et a pour antagoniste direct le muscle crico-thyroïdien qui la tend.

Gruetzner[2] en 1879 admet sans difficulté que ce muscle est un relâcheur des cordes vocales puisqu'il en rapproche les deux extrémités : mais il ajoute que son action est annihilée du fait de la contraction du crico-thyroïdien. Sa force de relâchement dépend donc uniquement de la résistance qu'il a à surmonter.

Jelenffy[3] en 1880 avoue avoir mis plusieurs années à comprendre l'action du thyro-aryténoïdien, et dit que les résultats des recherches auxquelles il s'est livré lui font admettre que, les aryténoïdes étant solidement fixés pendant la phonation, le rôle du thyro-aryténoïdien *est d'attirer le thyroïde en arrière et de le rapprocher de la paroi postérieure.*

Plus récemment en 1885, Martel, dont j'ai déjà cité les recherches expérimentales, montre que ce muscle en se contractant se raccourcit, porte les cartilages

1. A. Ruehlmann. *Untersuchungen über das Zusammenwirken der Muskeln bei einigen haüfiger vorkommenden Kehlkopfstellungen* in *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* (*Math. Natur. Klasse, 3e Abtheilung.* Band LXIX, p. 257).

2 Gruetzner. *Physiologie der Stimme und Sprache,* in *Hermann's Handbuch der Physiologie,* t. 1er, 2e partie, p. 54, Leipzig, 1879.

3. Jelenffy. *Der Musculus vocalis und die Stimmregister* in *Pflüger's Archiv f. die gesammte Physiologie,* t. XXII, 1880, p. 50.

aryténoïdes en dedans et surtout les *rapproche* de l'angle rentrant du thyroïde. En même temps il diminue la tension de la membrane vocale : la glotte prend un aspect fusiforme.

Cette théorie du relâchement des cordes vocales me semble vraie.

Qu'on se rapporte tout d'abord aux expériences d'électrisation directe que nous avons faites sur les larynx des cholériques : on y voit les cordes vocales inférieures se contracter violemment sous l'influence du courant induit, se gonfler et déplacer fortement les cartilages aryténoïdes, qu'elles entraînent en avant vers le thyroïde leur point d'insertion fixe, de façon à diminuer sensiblement le diamètre vocal antéro-postérieur.

Puis, de la disposition anatomique de ce muscle, il est aisé de déduire son rôle. Il est étendu comme une corde antéro-postérieure de l'angle rentrant du thyroïde à l'apophyse vocale de l'aryténoïde : en se contractant il se raccourcit et rapproche ces deux insertions. Son raccourcissement est assez prononcé puisque de 15 millimètres, sa longueur maxima chez l'homme, il peut, par une robuste contraction, arriver à ne mesurer plus que 10 millimètres d'avant en arrière. Mais dans ce mouvement, sont-ce les aryténoïdes, est-ce thyroïde qui se déplacent? Or, j'ai déjà

1. Tous les fibres musculaires qui composent le muscle thyro-aryténoïdien interne constituent des faisceaux antéro-postérieurs, sensiblement parallèles, rarement anastomosés et surtout ne présentant point ces entre-croisements compliqués qu'on s'est plu à leur attribuer. Une figure empruntée à Gruetzner, que je reproduis plus loin, montre cette disposition et fait voir de plus que le muscle thyro-aryténoïdien est simplement accolé à la corde ligamenteuse et ne lui envoie aucune insertion : il est indispensable de rappeler ce fait pour l'intelligence des pages qui vont suivre.

montré que pendant la phonation le thyroïde est immobilisé par les muscles extra-laryngés; que, au contraire, le levier crico-aryténoïdien jouit d'une mobilité relative grâce à l'élasticité de la trachée : il m'est donc permis d'affirmer que le thyro-aryténoïdien, en se contractant, *rapproche les aryténoïdes, partie mobile, de l'angle du thyroïde, point fixe.* Dans ce mouvement, les aryténoïdes attirent en haut et en avant le chaton du cricoïde : l'anneau cartilagineux bascule, son extrémité antérieure s'abaisse et l'espace crico-thyroïdien antérieur s'élargit.

La situation spéciale du muscle thyro-aryténoïdien exige que dans l'étude de sa contraction on tienne compte non seulement des effets de sa diminution de longueur, mais encore des résultats de son augmentation de diamètre transversal. Si nous étudions le muscle biceps brachial, nous n'aurons pas à tenir compte de son gonflement, puisqu'il s'opère aux dépens de l'espace extérieur; mais, dans le cas particulier, l'augmentation de volume du thyro-aryténoïdien entraîne une diminution proportionnelle de l'aire glottique : et plus le thyro-aryténoïdien se contracte, plus la glotte se rétrécit. Quelle importance convient-il d'attribuer à ce phénomène? La moindre possible : en premier lieu, parce que le gonflement du muscle est extrêmement faible; en second lieu, parce qu'on sait maintenant le peu d'influence qu'a le degré d'ouverture de la glotte membraneuse, sur la hauteur du son. Au reste, ainsi que je l'ai démontré plus haut, il y a un muscle dont la contraction, bien mieux que celle du thyro-aryténoïdien, sert à rétrécir la glotte membraneuse : c'est le crico-thyroïdien.

L'effet le plus utile de ce gonflement du thyro-aryténoïdien, c'est de pousser en dedans la corde ligamenteuse et la muqueuse vocale, action qu'on reproduit expérimentalement sur le larynx de cadavre, à l'aide d'une pince qui appuie latéralement de dehors en dedans sur la corde ligamenteuse. J'insisterai longuement sur ce mécanisme, quand le moment sera venu de déduire de mes expériences cadavériques une théorie de la voix de poitrine.

De tout ce qui précède, je conclus que : *le muscle thyro-aryténoïdien interne, en se contractant, porte en avant les aryténoïdes, et les rapproche de l'angle rentrant du thyroïde : il raccourcit les cordes vocales ligamenteuses, et les met dans un état de relâchement d'autant plus accentué, que sa contraction est plus forte : et comme conséquence, il amène un abaissement de tonalité de la voix.*

Il y a donc lieu d'établir un antagonisme direct et absolu, entre le crico-thyroïdien et le thyro-aryténoïdien qu'on considérait jadis comme muscles congénères; le premier tend les cordes vocales, le second les relâche, et mérite bien le nom de *muscle relâcheur de la glotte* (laxor, Morell Mackenzie).

Je sais bien qu'on peut me dire avec Ruehlmann, avec Gruetzner, que ce relâchement actif des cordes vocales n'est généralement pas possible, car les muscles tenseurs s'y opposent. Cependant tout le monde admet la tension active des ligaments vocaux par action musculaire; qui m'empêcherait alors de dire : cette tension active n'est pas possible pendant la vie, parce que le muscle relâcheur s'y oppose. C'est tout comme si l'on venait dire que les extenseurs des doigts ne peu-

vent point agir parce que les fléchisseurs s'y opposent. Mais cet antagonisme permanent entre deux forces contraires n'est-il pas un des principes fondamentaux de la physiologie musculaire? Est-ce que par tout le corps humain, partout où il y a un muscle pour produire un mouvement, pour déplacer un levier osseux, il n'y a pas en face de lui un autre muscle, destiné à produire le mouvement contraire, à ramener le levier à sa position première? Le larynx ferait donc seul exception à cette règle? Contre une force musculaire relativement puissante qui les tend, les cordes vocales ne pourraient lutter que par leur élasticité? A une tension active et intelligente, elles n'opposeraient qu'une détente passive et indifférente? Non, cela n'est pas possible; le relâchement, comme la tension des cordes vocales, se fait par action musculaire. La preuve, c'est que toute voix peut être étendue dans le haut ou dans le bas; elle acquiert des sons graves, comme elle gagne des notes hautes; elle gagne des notes hautes, parce que le tenseur, comme tout muscle qui travaille, prend plus de force: or croit-on qu'elle s'étende dans le bas, parce que le muscle relâcheur s'est exercé davantage, ou parce que le travail a augmenté l'élasticité rétractile des cordes vocales?

Donc, il y a dans le larynx deux muscles antagonistes, l'un qui tend, l'autre qui relâche les cordes vocales; ces deux muscles, dans le registre de poitrine, sont en opposition perpétuelle.

Cet antagonisme s'explique anatomiquement. Je suppose le larynx en position vocale, par conséquent le thyroïde (T) immobilisé et les aryténoïdes solidement fixés sur le cricoïde (AC). — Quand le tenseur

ab se contracte, il rapproche le cricoïde du thyroïde en avant, le fait basculer et porte en arrière les aryténoïdes, la distance *ed* est accrue, les cordes vocales (*cv*) alllongées; quand le relâcheur *ed* se contracte, la distance *ed* est diminuée et les cordes vocales sont

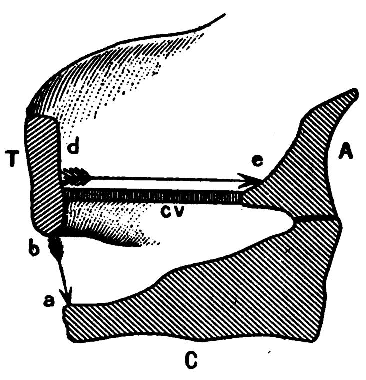


Fig. 8.

directement raccourcies; les aryténoïdes se portent en avant, le cricoïde s'abaisse antérieurement et la distance *ab* est accrue. On voit donc que quand un de ces deux muscles se contracte, il exerce indirectement une traction sur son antagoniste à l'aide du mouvement de bascule du levier crico-aryténoïdien; il faut seulement remarquer que le crico-thyroïdien tend indirectement les cordes vocales par l'intermédiaire de cette bascule, tandis que le thyro-aryténoïdien les relâche directement en rapprochant leurs deux extrémités : le mouvement de bascule est alors consécutif.

L'antagonisme de ces deux actions étant bien établi, on pourrait essayer de classer les muscles du larynx par paires opposées deux à deux ce qui en rendrait la description plus simple :

1° *Muscles qui président au cheminement des aryténoïdes :*

A.	Ary-aryténoïdien.	les rapproche.
B.	Portions verticales des crico-aryténoïdiens postérieurs.	les éloignent.

2° *Muscles qui président à la rotation des aryténoïdes :*

A.	Crico-aryténoïdiens latéraux.	rotation en dedans.
B.	Portions horizontales des crico-aryténoïdiens postérieurs.	rotation en dehors.

3° *Muscles qui président à la tension des cordes vocales :*

A.	Thyro-aryténoïdiens. . . .	les relâchent.
B.	Crico-thyroïdiens.	les tendent.

Dans tout larynx qui parle, il y a donc antagonisme d'action perpétuel, lutte vocale constante entre les tenseurs et les relâcheurs; il en résulte normalement dans la tension des cordes vocales un état d'équilibre tel, que les actions de ces deux muscles se contrebalancent exactement et qu'aucune ne prédomine. Cette position d'équilibre correspond à une note spéciale, variable suivant les individus, qui se produit avec l'effort minimum possible, et qui caractérise la hauteur de la voix parlée : *l'intonation normale.*

§ VI. — DE L'INTONATION NORMALE

J'appelle *intonation normale* la hauteur moyenne et habituelle de la voix parlée. Le mot n'est pas nouveau : c'est là son moindre défaut. Mais le sujet est neuf, car j'éprouve à le développer une difficulté grande qui résulte du manque absolu de données scientifiques antérieures qui puissent m'y aider.

L'intonation normale définit la hauteur d'une voix et ne préjuge rien de son timbre : c'est ainsi qu'une même intonation est commune à beaucoup d'hommes, tandis qu'il est exceptionnel de rencontrer deux voix dont le son se ressemble au point qu'on puisse les confondre.

L'intonation normale est plus élevée chez l'enfant que chez l'adulte, plus haute chez la femme que chez l'homme, pour la raison simple qu'elle varie presque parallèlement à la hauteur de la voix, laquelle dépend des dimensions du larynx.

L'intonation normale ne doit cependant pas être confondue avec la hauteur d'ensemble d'une voix; de ce que ces deux caractéristiques vocales se correspondent d'ordinaire, il n'y a pas à conclure qu'elles s'unifient : il y a ici analogie et non synonymie. Ainsi je note plus loin deux chanteurs ayant une étendue commune de voix de LA_1 à LA_3 et dont l'intonation normale est chez l'un MI_2, chez l'autre SOL_2.

L'intonation normale c'est la note sur laquelle on parle. Je sais bien qu'une voix qui garderait sans cesse la même tonalité serait d'une monotonie désespérante,

rare heureusement. Quand nous parlons naturellement, nous parcourons d'ordinaire une échelle de deux à trois notes; les méridionaux, les gens à élocution ondulante et colorée changent de ton en causant dans l'étendue d'une quinte, pas plus. La conversation ordinaire n'enjambe jamais une octave; une pareille modulation appartient au langage déclamatoire des orateurs ou des tragédiens; mais ce n'est plus là la parole, c'est une variété de chant parlé d'une hauteur sciemment artificielle. Mais au milieu des trois ou quatre notes employées par le causeur, il en est une qui revient plus souvent, dont il se sert de préférence, celle-là même qu'il emploie quand il parle naturellement sans chercher à assombrir ou à forcer son langage pour attirer l'attention. Cette note naturelle définit l'*intonation normale.*

L'intonation normale correspond anatomiquement à l'état de tension instable des cordes vocales qui résulte de l'équilibre parfait entre les tenseurs et les relâcheurs de la glotte : en cet état les deux forces adverses se contrebalancent au mieux. Mais que l'une d'elle vienne à l'emporter, l'équilibre se rompt, l'intonation normale change, la voix monte ou baisse.

L'intonation normale ne peut exister qu'en voix de poitrine : on en verra plus loin le pourquoi. En voix de fausset, il ne peut pas y avoir d'intonation normale; car ce registre nécessite un état forcé, anormal du larynx, dans lequel tout diapason qu'il plaît à la voix d'adopter dépend du degré de contraction d'un seul muscle et non plus d'un état d'équilibre entre deux forces adverses.

J'ai surtout étudié l'intonation normale chez les

chanteurs et fort peu chez les chanteuses ; cela pour deux raisons : la seconde, c'est que chez l'homme les phénomènes sont incomparablement plus nets et plus faciles à analyser. L'homme parle toujours en voix de poitrine. La voix de fausset est chez lui si haute et si peu commode qu'il ne s'en sert pas. La femme au contraire parle sur la limite des deux registres, si bien que dès qu'elle cherche à accentuer certaines syllabes, sa voix monte en fausset, puis redescend en registre de poitrine à la phrase suivante.

Il en est de même pour l'enfant avant la mue. Je me réserve d'ailleurs d'étudier un jour complètement la question de l'intonation normale chez la femme ; et je ne pourrai le faire avec profit que quand on saura enfin pourquoi le registre de fausset, si restreint chez l'homme, fournit les deux tiers de la voix féminine. Chez l'homme je dirai le pourquoi : chez la femme, je ne puis indiquer que le comment.

Voici deux exemples qui chacun correspondent à un type spécial d'intonation normale chez la femme.

Madame F... a une voix de mezzo soprano qui en poitrine s'étend du LA_2 au SOL_3 et en fausset monte à l'UT_5. Cette personne parle sur le SOL_3. Elle cause donc en voix de poitrine : mais dès qu'elle cherche à monter, elle passe en voix de fausset. C'est là un type assez commun.

Madame Degr..., de l'Opéra-Comique, a une voix de soprano qui en poitrine s'étend de $SI\flat_2$ à FA_3 et en fausset atteint le MI_5. Or elle parle en $LA\flat_3$. Son intonation normale se fait donc en voix de fausset. Cela semble complètement contredire ce que je viens de

dire il y a un instant. Mais il s'agit ici d'une exception, d'un type absolument rare. Cette dame possède dans la conversation habituelle une voix suraiguë tout à fait spéciale, qui semble forcée et qui frappe toute personne non prévenue.

Enfin, dans les cas de beaucoup les plus fréquents (toujours pour les contralti), l'intonation normale se fait chez la femme comme chez l'homme en voix de poitrine, et sur une note assez grave pour que la voix puisse monter d'une à deux notes sans passer en registre de fausset.

Cela dit, je reviens à l'intonation normale chez l homme.

Je ne puis mieux faire que de donner le tableau suivant, plus explicatif que n'importe quelle démonstration, et qui est intéressant. Presque tous ces résultats ont été notés chez des artistes de l'Opéra-Comique : c'est assez dire la précision qu'on peut leur attribuer.

	Voix.	Étendue du registre de poitrine.		Intonation normale.
Is........	basse	$FA\#_1$	$FA\#_3$	MI_2
Lebr.....	baryton	$FA\#_1$	SOL_3	MI_2
Sou......	baryton	LA_1	SI_3	MI_2
Fug......	baryton	SOL_1	SOL_3	SOL_2
Ler......	baryton	LA_1	FA_3	FA_2
Lan......	baryton	LA_1	LA_3	MI_2
De Pr.....	baryton	LA_1	LA_3	SOL_2
Mou......	ténor	$RÉ_2$	SI_3	SOL_2
Deg......	ténor	$RÉ_2$	UT_4	SOL_2
Her......	ténor	UT_2	UT_4	$LA\flat_2$
Bar......	ténor-trial	FA_1	LA_3	LA_2

Ce tableau montre d'abord qu'entre la hauteur et l'intonation normale d'une même voix il n'y a point de concordance absolue, mais il existe néanmoins un parallélisme approximatif.

Les basses parlent sur le MI_2, les ténors sur le SOL_2 ou le LA_2 : le FA_2 appartiendrait plutôt aux barytons. Deux notes seulement séparent les hauteurs extrêmes de l'intonation normale des basses profondes et de forts ténors; musicalement cette différence est faible, mais elle est énorme pour l'oreille qui, à entendre parler un chanteur, peut aisément en définir l'emploi. Il est encore une fois entendu qu'ici je fais complètement abstraction du timbre, qui, bien mieux que l'intonation, permet de reconnaître ou de classer une voix.

En quel point de la gamme vocale siège la note de l'intonation normale? Est-elle à la même distance musicale des sons le plus grave et le plus aigu d'une voix donnée? Non. Étant donné qu'une belle voix possède deux octaves, l'intonation normale siège dans la partie haute de l'octave inférieure. Ainsi les basses qui vont du FA_1 au FA_3 parlent en MI_2 : les ténors qui vont de l'UT_2 au SI_3 parlent en SOL_2. Cette règle, il est vrai, comporte des exceptions; tel est le cas Fug..., tel est le cas de Bar...; cependant, telle que je l'ai formulée, la règle peut être considérée comme étant généralement vraie.

L'anatomie donne l'explication de ce fait. J'ai déjà démontré que chez le cadavre, il existe un état spécial de la glotte, que j'ai appelé *position d'équilibre vocal*, état neutre produit par les actions opposées des ligaments élastiques des cordes vocales qui tendent à raccourcir la glotte, et du ligament crico-thyroïdien moyen qui tend à l'allonger; la note produite dans cette situation est d'une quinte ou d'une sixte supérieure au son le plus bas, et d'un dixième inférieure au son le plus haut émis par ce larynx. Chez le vivant,

la *position d'intonation normale* qui lui correspond en diffère parce qu'il faut tenir compte d'actions musculaires infiniment plus complexes. A l'état de vie, voici les forces antagonistes qui agissent sur les cordes vocales ligamenteuses.

Forces de tension.	*Forces de relâchement.*
Ligament crico-thyroïdien.	Ligaments élastiques des cordes vocales.
Muscles crico-thyroïdiens : et un peu les muscles crico-aryténoïdiens latéraux et postérieurs.	Muscles thyro-aryténoïdiens.
Muscles sterno-thyroïdiens.	Muscles thyro-hyoïdiens.

Si chez le vivant l'intonation normale est plus haute que sur le cadavre, c'est que chez celui-ci les cordes vocales ligamenteuses l'emportent en rétractilité sur le ligament crico-thyroïdien moyen et mettent la glotte dans un état plus voisin du relâchement que de la tension. Pendant la vie, à ces actions élastiques s'ajoutent des forces musculaires disposées d'une façon inverse, puisqu'il y a trois paires de tenseurs pour une paire de relâcheurs : ce fait a pour effet de hausser l'intonation.

Mais pourquoi la note d'intonation, à peu près médiane, est-elle plus près de la limite inférieure que de la limite supérieure de la voix de poitrine? C'est, je crois, qu'en voix de poitrine, la contraction du thyro-aryténoïdien est indispensable et puissante pour deux motifs : il se contracte pour la note, il se contracte pour le registre[1] ; le crico-thyroïdien ne se contracte que pour la note seule : son énergie est naturellement moindre.

1. Voir plus loin le chapitre qui traite du mécanisme de la voix de poitrine.

Quel avantage immédiat y a-t-il à retirer de cette détermination de l'intonation normale? Aucun. Mais l'intérêt d'un fait ne se mesure pas à son utilité pratique. N'est-elle pas curieuse, cette lutte perpétuelle qui se passe dans le larynx entre deux forces égales, dont l'une peut momentanément l'emporter, mais jamais ne triomphe définitivement et qui, d'ordinaire, se maintiennent mutuellement dans une sorte de *statu quo* qu'on appellera de tel nom qu'on voudra, voix parlée ou intonation normale? Ne satisfait-elle pas mieux l'esprit que cette doctrine confuse mais classique, qui veut que deux muscles essentiellement différents de situation et de direction arrivent par des résultats opposés au même résultat commun, la tension, la tension seule de la glotte?

CHAPITRE III

DE LA TENSION PASSIVE DES CORDES VOCALES

§ I. — DU MÉCANISME DE LA TENSION DES CORDES VOCALES PAR LA PRESSION DE L'AIR EXPIRÉ

Tous les physiologistes qui, voulant étudier le mécanisme de la phonation, ont expérimenté sur des cadavres — et ceux-là sont à mon sens les plus dignes de foi — sont d'accord sur ce point que la tension musculaire des cordes vocales restant fixe, on peut hausser le son en augmentant la pression de l'air qui fait vibrer la glotte. Les divergences dans les opinions ne portent que sur l'étendue de cette variation de ton.

Ferrein enseigne que quand le ton s'élève par accroissement de pression, la variation ne dépasse pas *un demi-ton*, au plus *un ton entier*.

Liscovius dit que, à égalité de tension des cordes vocales, le son peut monter d'une quinte quand on souffle plus fort : au delà de cette limite il devient criard.

Mueller tire de ses expériences la conclusion bien nette que voici : « à tension égale des cordes vocales par un poids, la force plus grande du souffle élève le son jusqu'à près d'une quinte et même plus. » Il y a donc, dit-il, deux procédés pour produire un même son : souffler doucement avec une tension donnée des cordes vocales; souffler fort avec une tension moindre. Ces deux sons diffèrent beaucoup quant à leur éclat. Celui qu'on obtient en soufflant doucement est bien plus fort que celui qu'on forme en soufflant plus fort avec une tension primitive moindre. Et Müller ajoute : « A-t-on atteint le maximum de tension avec lequel les cordes vocales donnent le son le plus aigu possible par un souffle tranquille, on peut encore, en soufflant plus fort, faire sortir quelques autres sons plus aigus mais criards. L'épreuve sur nous-mêmes nous l'apprend aussi, et on voit par là combien les expériences sur le larynx de cadavre peuvent répandre de jour sur la théorie de la voix humaine. »

Les expériences cadavériques que j'ai faites à ce sujet (Exp. XXIII à XXVIII) m'ont montré que :

1° Les cordes vocales étant maintenues à un degré fixe de tension musculaire, les changements de pression de l'air expiré font varier d'environ une quarte la hauteur du son;

2° Cette modification du son se fait plus aisément dans les notes basses que dans les notes aiguës; elle peut être d'une quinte dans le premier cas, tandis que dans le second elle est difficilement de plus d'une tierce;

3° Elle se produit beaucoup plus facilement dans le registre de fausset que dans le registre de poitrine.

Ce fait de la tension passive des cordes vocales par la pression de l'air expiré est indéniable : il importe d'en donner l'explication et d'en montrer l'utilité grande.

Le son monte dans ces conditions parce que les

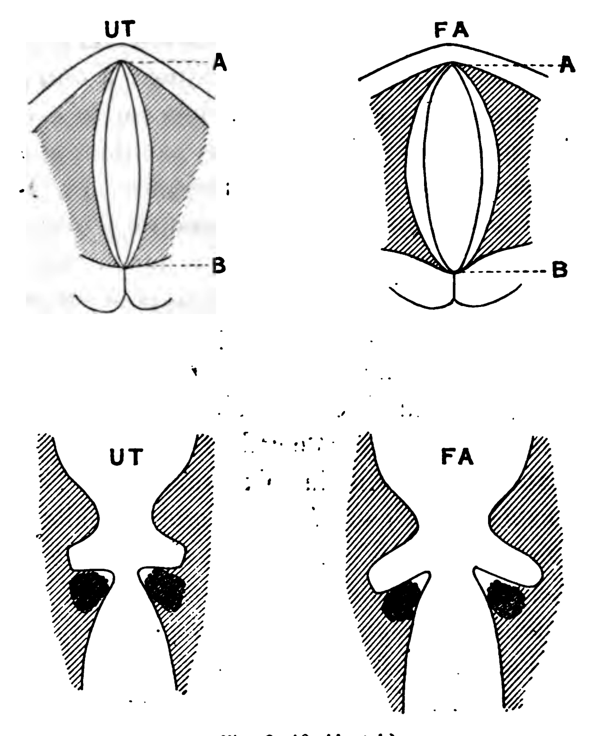


Fig. 9, 10, 11 et 12.

cordes vocales se tendent davantage, et elles se tendent davantage, parce qu'elles s'allongent.

Les figures ci-jointes représentent une coupe horizontale et une coupe transversale de la glotte dans deux positions qui correspondent à l'UT_2 et au FA_2,

La position UT_2 est obtenue par la tension musculaire, le souffle étant très modéré ; si l'on augmente alors la tension aérienne, on fait monter le son à la note FA_2 : et en même temps on observe que la glotte s'élargit et que les cordes vocales se bombent à convexité supérieure. Ces deux changements ont pour résultat un allongement des cordes vocales. En effet, qu'on compare les figures 9 et 10; les points A et B, qui indiquent les extrémités des cordes vocales, restent à la même distance, puisque la tension musculaire n'a pas varié; mais quand la glotte s'élargit, ses bords décrivent une concavité plus grande, courbure qui ne peut s'accroître sans que ses bords s'allongent, puisque de deux arcs de cercle menés d'un point à un autre, celui dont la convexité est le plus prononcée est évidemment aussi le plus long; il y a donc, du fait de la dilatation de la glotte en largeur, augmentation de la longueur des cordes vocales. Mais la convexité des cordes dans le plan vertical est également accrue (fig. 11 et 12); par le même mécanisme que dans le cas précédent, cette augmentation de courbure amènera une augmentation de longueur. Il s'ensuit que, sous la pression du courant d'air expiré, les cordes vocales s'allongent par l'influence de deux forces dont l'une agit de dedans en dehors, l'autre de bas en haut; leurs insertions restant fixes, cet allongement amène nécessairement un surcroît de tension : d'où élévation du son.

Il importe de faire remarquer que l'augmentation de pression de l'air expiré a pour résultat non seulement d'élever la hauteur du son, mais aussi d'en accroître l'intensité : les vibrations deviennent du même coup plus nombreuses, plus amples. La note

est *plus haute* et *plus forte*. De plus, comme la glotte s'élargit à proportion que la pression augmente, l'air expiré sort plus facilement, et ainsi s'explique qu'à égalité de hauteur une note puisse être tenue d'autant plus longtemps qu'elle est émise plus piano. Les recherches spirométriques confirment ces résultats.

Mais pourquoi cette élévation du son est-elle plus marquée dans les parties graves de la voix que dans les notes hautes? Parce que dans l'octave basse, les cordes vocales ligamenteuses relâchées et molles se laissent bomber et écarter plus aisément, tandis que dans les notes aiguës elles deviennent rigides, et, opposant une forte résistance à l'action de l'air, qui a peine à les mouvoir, elles se laissent moins déformer.

Et si cette variation de pression a surtout un effet utile dans le registre de fausset, c'est qu'à ce moment la muqueuse seule vibre — ainsi qu'il sera démontré plus loin, — et que cette membrane mince oppose à la tension aérienne une résistance bien moindre que la corde vocale ligamenteuse.

Tel est le principal mécanisme de la tension passive des cordes vocales par l'augmentation de la pression aérienne. Mais Hooper[1] enseigne que l'augmentation de la pression sous-glottique peut, par un autre procédé, amener une tension plus grande des lèvres de la glotte.

Cet auteur, par ses expériences, démontre que dans le mouvement d'élévation en totalité du larynx, pendant la production des notes élevées, la pression de l'air donne lieu à un mouvement indépendant et

1. F. H. Hooper. *Experimental researches on the tension of the vocal bands*. Boston, *Harvard medical School*, 1883.

marqué des cartilages thyroïde et cricoïde, mouvement dont il n'a pas encore été fait mention jusqu'ici. L'insufflation par la trachée élève le larynx en masse; mais le mouvement d'élévation du cricoïde est plus marqué que celui du thyroïde, de sorte que sous l'influence de fortes pressions, ces cartilages se rapprochent en avant; ce mouvement est analogue à celui que détermine la contraction du crico-thyroïdien, et comme lui produit la tension longitudinale indirecte des cordes vocales. Plus est grande la force avec laquelle l'air est chassé de la poitrine, plus les deux cartilages cricoïde et thyroïde se rapprochent, plus les cordes vocales sont tendues, et conséquemment plus le son est élevé.

On n'insiste pas assez, dans les traités classiques, sur le rôle capital que joue la pression aérienne dans la détermination de l'intonation laryngée; il n'y pas seulement, quand on étudie la formation des notes, à tenir compte du degré de contraction musculaire qui correspond à une hauteur donnée, il importe de considérer au moins autant la pression exacte de l'air expiré à ce moment. Nous ne pouvons donner une note vocale sans une certaine pression respiratoire : or cette pression à elle seule produit un degré de tension glottique qui s'ajoute à la tension déjà produite par l'action musculaire; de sorte que toute hauteur vocale résulte de la somme de ces deux tensions. Instinctivement ou par éducation nous faisons cette addition de forces avec une exactitude si bien combinée que toujours leur somme est telle que nous la voulons, sans cependant que nous sachions au juste quelle part de cette tension musculaire est attribuable à

l'action musculaire, quelle part à la pression aérienne. Je veux dire que quand le larynx veut produire une note, un UT_3 par exemple, l'accommodation par action musculaire se fait à peu près pour le SI_2 ou le SI $\flat_2$; et c'est la pression de l'air expiré qui se charge de compléter la tension nécessitée par l'UT_3. Or si activement la tension glottique s'accommodait d'emblée à l'UT_3, elle ne pourrait se maintenir à ce diapason qu'avec une pression respiratoire *théoriquement nulle;* car si légère qu'elle soit, cette pression aérienne détermine un accroissement de tension qui fera détonner la glotte vers une note plus élevée.

Les chanteurs savent bien tout l'avantage qu'ils peuvent retirer de ces variations de la pression expiratoire, et instinctivement ils s'en servent pour amener des résultats analogues à ceux que j'ai observés sur le cadavre (Exp : XXV et XXVI). Quand ils sont arrivés aux limites extrêmes de leur voix, quand leurs muscles contractés au maximum leur refusent tout nouveau service, ils appellent à leur aide les modifications de la pression expiratoire et parviennent ainsi à atteindre des notes inaccessibles à l'action musculaire.

Voilà pourquoi les ténors lancent à toute volée les UT_4 de poitrine : peut-être à ce moment leurs tenseurs, dans un effort suprême, sont-ils contractés de façon à ne donner que le LA_3; l'expiration forcée augmente de deux tons la tension des cordes vocales et l'amène au degré voulu par l'artiste. Mais que la note cesse d'être chantée *forte*, immédiatement elle baisse.

Pour la même raison, dans les parties basses de leurs rôles, les basses profondes émettent des sons si faibles que parfois on les entend à peine. C'est qu'en

effet la plus forte contraction des thyro-aryténoïdiens peut amener par exemple le relâchement de la glotte au SOL_1, pas plus bas : mais ce SOL_1, est produit avec une pression aérienne normale; que cette pression baisse, la tension glottique qui en résulte diminue, et le larynx peut arriver ainsi à fournir un MI_1.

La conséquence qui résulte de cette tension passive des cordes vocales par l'air expiré, c'est que toute note est d'autant plus haute qu'elle est émise plus forte; de sorte qu'on pourrait croire qu'un son vocal ne peut modifier son intensité sans inévitablement altérer sa hauteur. Cela n'est pas. C'est même une question qui a toujours vivement excité la curiosité des physiologistes que de savoir comment un chanteur peut *filer un son*, comment il peut enfler puis adoucir une note sans modifier le moins du monde sa hauteur; Mueller, qui a franchement abordé la solution de ce problème, a donné au mécanisme qui permet à la voix de modifier son intensité sans changer sa hauteur, le nom de *compensation vocale.*

§ II. — DE LA COMPENSATION VOCALE

« Par compensation, nous dit Mueller[1], on entend en général dans les instruments de musique une disposition au moyen de laquelle une certaine étendue des instruments nécessaires pour la production d'un son donné est rendue inutile par un changement apporté aux circonstances qui le commandaient. »

1. Mueller. *Ueber die Compensation der physischen Kräfte am männlichen Stimmorgan.* Berlin, 1839.

Bien mieux qu'une définition nécessairement obscure un exemple fera comprendre ce phénomène. Je suppose une corde de longueur déterminée donnant un son x : on raccourcit cette corde de façon qu'elle donne le son y, mais en même temps on la détend : il y a compensation, et le son n'est pas modifié.

On désigne encore sous le nom de compensation une disposition des instruments de musique qui fait qu'au lieu de changer leur son d'après la force du choc, ils le maintiennent au contraire à la même hauteur, quelque varié que puisse être ce choc. Ainsi G. Weber a construit un tuyau d'orgue compensé qui garde le même son, quelle que soit la force du souffle qui le traverse. Mais entre le tuyau d'orgue et le larynx il y a cette différence que, tandis que la voix humaine est d'autant plus haute que l'expiration se fait sous une plus forte pression, dans les languettes métalliques l'inverse s'observe, attendu que le son est plus élevé quand le souffle est faible que quand il est fort. Mueller explique ce fait en admettant qu'un souffle faible fait vibrer seulement les bords de la languette, tandis qu'un souffle fort met aussi sa base en vibration et aggrave le son.

Ce n'est donc point d'après les conditions de structure du tuyau compensateur de Weber qu'on peut expliquer le mécanisme de la compensation vocale de l'homme : il faut en chercher l'interprétation ailleurs, et il semble qu'elle soit difficile à trouver, car les auteurs s'accordent mal sur ce point. Une seule chose est nettement établie, c'est que toutes les languettes membraneuses — ruban de caoutchouc ou cordes vocales humaines — élèvent, quand le souffle devient

plus fort, le son qui leur est assigné par leur tension et leur longueur.

Les théories variées de la compensatiou vocale peuveut se ranger en quatre groupes.

A. — En premier lieu, il y a ceux qui n'expliquent pas la compensation vocale par la raison simple qu'ils ne l'admettent pas. Leurs assertions vont à l'encontre de tous les faits expérimentaux, quand elles veulent établir que jamais le son vocal ne monte quand on force le courant d'air.

Il n'y a point de compensation qui ait besoin de s'établir, suivant Fournié[1], quand il y a variation de pression respiratoire : « Une seule chose est changée, dit-il, c'est l'énergie de l'impulsion de l'air à travers la glotte. Le souffle faible produit des sons faibles : le souffle fort produit des sons intenses. Le larynx reste ainsi dans l'ordre de tous les corps sonores, et si l'on désire qu'il se montre en toutes circonstances supérieur à ces derniers, nous trouverons ici cette ***suprématie dans l'action vitale*** qui permet à la membrane vocale de résister à une pression excessive de l'air sans changer de ton. »

Mais quel est donc cet impalpable principe de vie qui met le larynx dans des conditions vibratoires tellement différentes avant et après la mort? Le larynx mort obéit aveuglément à toutes les règles de la vibration des corps élastiques : quelle peut être la force qui pendant la vie le délivre d'une telle sujétion? Les grands mots n'expliquent pas les petites choses. Faire intervenir la suprématie de l'action vitale dans l'interpréta-

1. Fournié. *Physiologie de la voix et de la parole.* Paris, 1866.

tion d'un phénomène d'ordre purement physique, c'est presque avouer son ignorance des conditions mécaniques qui président à ce fait : car les principes de métaphysique ne sauraient prévaloir contre la donnée d'une expérience.

Gay[1] ne prononce pas le mot de compensation, mais il pose d'autorité des principes qui ne sont rien moins que vrais :

Qu'une note soit donnée forte ou piano, *aucune variation n'est observée dans l'orifice glottique. Les cordes vocales sont dans le même état de tension*, mais leur déplacement est plus considérable, comme on peut le voir par l'amplitude d'oscillation des mucosités. Et avec le simple appui de ces mucosités, sans aucune expérience, difficilement compatible d'ailleurs avec la hâtive fabrication d'une thèse d'agrégation, il contredit carrément toute l'œuvre de Mueller.

« On (Mueller) a eu grand tort de dire que si on forçait l'expiration, ce qui devait faire hausser le son, il fallait relâcher la corde vocale pour le baisser dans la même proportion afin de conserver à la note émise sa hauteur. *Il n'en est rien*. Pour chaque son, il y a un degré de rigidité et d'élasticité assigné aux cordes vocales par le degré déterminé de la contraction des muscles intéressés ; ce degré de tension initial est conservé, sinon la voix détonne. »

En cela, je suis absolument de l'avis de Gay : la voix détonne si la tension initiale des cordes n'est pas conservée. Seulement quand la pression de l'air s'accroît, cette tension est toujours augmentée et toujours

1. Gay (O.). *Théorie physique de la phonation*, in *Thèse d'agrégation*. Paris, 1876.

le son monte. Gay ne tient enfin aucun compte de la tension passive des cordes vocales par l'air expiré : d'après lui il semble que la tension soit toujours d'origine musculaire : or c'est là une erreur.

Je suppose — ceci n'est qu'un schéma — que pour une note *a* la tension nécessaire des cordes soit x, formée de la somme de la tension active y et de la tension passive z, de sorte que

$$x = y + z$$

Or si z vient à augmenter, il faut que y diminue pour que x ne change pas, ou inversement. De sorte que l'on a :

$$x = (y - 1) + (z + 1)$$

ou

$$x = (y + 1) + (z - 1).$$

Le mécanisme de la compensation vocale ne pouvant donc être nié, il faut chercher à l'expliquer.

B. — La meilleure manière, à mon sens, de le comprendre, c'est d'admettre qu'à mesure que la tension passive des cordes vocales augmente la tension active diminue, de telle façon que *la somme des deux tensions reste constante.* La diminution de cette tension active peut être obtenue de deux manières : ou par moindre contraction du muscle tenseur, ou par énergie plus grande du muscle relâcheur. Seulement, comme le thyro-aryténoïdien interne ne se contracte pas dans le registre de fausset, et que la compensation vocale s'établit aussi bien en voix de tête qu'en voix de poitrine, il y a, je pense, toutes raisons d'admettre, afin

de généraliser cette explication aux deux registres, que le *crico-thyroïdien est le muscle de la compensation vocale* et qu'en variant son degré de contraction il neutralise les effets de la pression aérienne.

Mueller a expérimentalement établi le fait suivant — vrai comme tout résultat d'expérience, mais qu'on n'aurait pu prévoir — que pour que la force de la voix monte, la hauteur du son restant la même, la tension des cordes vocales par action musculaire doit diminuer dans une bien plus grande proportion que la pression de l'air ne croît. Ainsi, pour qu'il y ait compensation parfaite, il faut que si la pression aérienne devient cinq à huit fois plus considérable, la tension longitudinale des cordes vocales devienne treize à quatorze fois moindre. Enfin, quand la pression de l'air monte au double et même au triple, ce qui produit une élévation d'une quarte et même d'une quinte, la tension musculaire pour abaisser le son à la hauteur de la note fondamentale, doit devenir au moins quatre fois plus faible, si ce n'est plus.

C. — D'autres physiologistes ont pu soutenir, en toute apparence de vérité, que le mécanisme de la compensation vocale réside dans la modification de l'ouverture glottique; une expiration plus forte est neutralisée par une glotte plus large qui lui donne plus aisément passage; ou si la contraction des muscles expirateurs se fait avec moins d'énergie, la glotte se resserre pour ramener à son taux normal la pression de l'air expiré en lui opposant un obstacle plus grand. Dans cette théorie, qui est absolument d'accord avec mes dessins schématiques qui montrent que la glotte s'élargit à mesure que la force du souffle augmente,

c'est la béance de la glotte qui se charge de maintenir uniforme la pression de l'air, de sorte que la tension passive des cordes vocales demeurant constante, la tension active n'a pas besoin de se modifier. Seulement cette théorie ne tient pas compte de ce phénomène, sur lequel j'ai plus haut insisté, d'où il résulte que, du fait de la dilatation de la glotte, les cordes vocales devenues plus concaves s'allongent : de sorte que si la contraction musculaire ne varie pas, elles sont du fait de la pression aérienne plus tendues, et le son monte. Voilà pourquoi j'aime mieux faire jouer le rôle de compensateurs aux muscles crico-thyroïdiens, et admettre que la dilatation de la glotte n'est qu'une résultante de l'accroissement de la pression respiratoire, et non point un acte préalable destiné à la neutraliser.

Au reste cette théorie a été défendue avec un grand talent par plusieurs auteurs.

Mueller, outre qu'il admettait une détente des cordes vocales coïncidant avec l'augmentation de la pression expiratoire, attribuait encore cet effet à une autre cause. Considérant à cette époque le muscle thyro-aryténoïdien comme tenseur des cordes vocales, il enseignait que pour opérer cette compensation, ce muscle se contracte d'autant moins que le souffle est plus fort. Mais ce muscle par sa portion sous-glottique rétrécit le calibre du tuyau vocal et influe ainsi sur la hauteur du son; de sorte que « si par la faiblesse du souffle le son est plus grave pour le *piano*, le rétrécissement de l'isthme inférieur de la glotte le rend plus aigu; et si la force plus considérable du souffle le rend plus aigu pour le *forte*, l'élargissement de l'isthme doit le rendre plus grave ».

Longet et Dodart sont d'accord avec Mueller sur ce point.

Diday et Pétrequin[1] ont très habilement développé cette idée que la compensation vocale est due aux différences d'ouverture de la glotte. Ils démontrent qu'entre les puissances expiratrices et les muscles qui font varier le diamètre de la glotte, il existe un consensus d'action en vertu duquel la largeur de cette ouverture se proportionne à la vitesse du courant d'air pour assurer la conservation du même ton : qu'ainsi lorsque, pour renforcer un son, on donne au souffle plus d'énergie, la glotte se dilate, non pas assez pour faire baisser le ton, mais cependant assez pour qu'il ne puisse monter. Quand au contraire on veut faiblir le son, la glotte se resserre instinctivement pour prévenir la baisse de ton qu'amènerait le ralentissement de la colonne d'air; que par conséquent dans ces deux cas, il s'établit entre la vitesse de l'air et la largeur de l'orifice qu'il traverse une compensation destinée à neutraliser l'influence que la différence d'énergie du souffle exerce sur le ton. Pourquoi, par exemple, peut-on enfler une note suraiguë tout en la maintenant juste, tandis qu'on ne saurait que très difficilement la faiblir sans baisser le ton? Une fois arrivé à un certain degré, la contraction des cordes vocales, quelque forte qu'elle devienne ensuite, ne contribue plus à l'élévation du ton, et cependant on peut alors, par une expiration très énergique, produire encore quelques notes suraiguës, ce qui mène à cette conséquence : que les sons les plus élevés ne sont dus qu'à l'impulsion de la co-

1. Diday et Pétrequin. *Gazette médicale*, 1840, t. VIII, p. 308.

lonne d'air. On conçoit dès lors pourquoi il sera possible de renforcer une note suraiguë, car la glotte préviendra en se dilatant l'élévation du son qui serait à craindre. Mais veut-on faiblir le même son, le ton baissera malgré tous les efforts du chanteur; il faudrait en effet pour s'y opposer que les cordes vocales se contractassent encore plus, ce qui est impossible. De même il sera possible de faiblir le son le plus grave de l'échelle vocale tout en le maintenant constant, mais il sera impossible de le renforcer, car la glotte qui était déjà pour le former à son maximum d'ouverture (?) ne saurait se dilater davantage (?).

Battaille a fait preuve d'un éclectisme peu compromettant en adoptant à la fois toutes les doctrines précédentes. Pourquoi les chanteurs peuvent-ils varier à l'infini les proportions du courant d'air sans altérer en même temps la hauteur du son? Parce qu'il y a un mécanisme compensateur destiné à permettre cette opération. On a voulu le trouver dans l'allongement ou le raccourcissement de la trachée : on a eu tort. La force du courant d'air est compensée par *la diminution de la tension longitudinale des cordes vocales et par la plus grande ouverture de la glotte en arrière.*

L'idée de Harless, qui veut que la glotte inter-aryténoïdienne restant plus ou moins ouverte pendant la phonation serve à régulariser le courant d'air expiré et à le maintenir à la même pression, me semble erronée; car il est évident que si, grâce au fonctionnement de ce ventilateur-régulateur, la tension de l'air expiré ne varie pas, il n'y a plus de *forte* ni de *piano* possible dans l'émission de la voix : par conséquent la compensation vocale devient inutile.

D. — Une dernière théorie, qui charge l'épiglotte de compenser par ses mouvements les effets de la variation de tension aérienne, est plus ingénieuse qu'exacte. Elle doit sa naissance à une découverte de Grenié. Magendie en fut le père. « M. Grenié, dit-il[1], qui vient de faire subir aux anches une modification si ingénieuse et si utile, n'est pas parvenu tout d'un coup au résultat qu'il a obtenu, il a dû passer par une série d'effets intermédiaires ; à une certaine époque de son travail, il voulait augmenter l'intensité d'un même son sans rien changer à l'anche. Pour y réussir, il était obligé d'augmenter graduellement l'intensité du courant d'air; mais cette augmentation, en rendant les sons plus forts, les faisait monter. Pour remédier à cet inconvénient, M. Grenié ne trouva d'autre moyen que de placer obliquement dans le tuyau, immédiatement au-dessus de l'anche, une languette souple, élastique, telle à peu près que nous voyons l'épiglotte au-dessus de la glotte, d'où l'on pourrait conclure que *l'épiglotte concourt à donner à l'homme la faculté d'enfler le son vocal sans que celui-ci monte* ».

Cette doctrine a été habilement reprise de nos jours par Walton[2] dans un mémoire où il étudie longuement le rôle de l'épiglotte dans la déglutition et la phonation. Il croit que chaque fois que le son tend à monter par excès de force de l'expiration pulmonaire, le mécanisme compensateur qui le baisse consiste dans l'abaissement de l'épiglotte et le rapprochement des cordes vocales supérieures : de même une note anchée

1. Magendie. *Précis élémentaire de physiologie*, t. Ier, p. 221, Paris 1816.
2. G.-L. Walton. *The function of epiglottis in deglutition and phonation*, in *Journal of Physiology*, t. Ier, 1878-1879, p. 303.

d'un tuyau d'orgue peut être enflée sans élévation du ton quand on presse sur la soupape qui est en haut des tubes. Du reste, ajoute-t-il, qu'on voie ce qui passe dans une trompette d'enfant à anche métallique : qu'on souffle plus fort, le son monte ; qu'on applique la main sur le pavillon, le son baisse ; qu'on fasse ces deux choses en même temps, le son ne bouge pas.

Par malheur les expériences de Mueller détruisent absolument cette théorie ; les conclusions en sont assez nettes pour que je n'aie pas besoin d'en rapporter les détails. « L'ablation totale de l'épiglotte ne change pas la voix d'une manière essentielle. *Cet appendice n'empêche pas que le son s'élève quand le souffle devient plus fort.* »

DE LA MANIÈRE DONT LES CORDES VOCALES VIBRENT

CHAPITRE IV

LE SON VOCAL EST-IL DU AUX VIBRATIONS DES CORDES OU DE L'AIR?

C'est un fait aujourd'hui hors de toute contestation que la voix est due uniquement aux vibrations des cordes vocales inférieures. Cependant bien des auteurs ont été frappés de la disproportion qui semble exister entre la petitesse des cordes et l'intensité parfois extrême de la voix humaine; et ils se sont demandé si le son glottique est dû aux vibrations de la corde vocale ou bien aux vibrations de l'air dont l'écoulement périodiquement variable est réglé par les oscillations des replis vocaux.

Cette dernière opinion a été admise par Dodart, Savart, Biot, Liscovius, Longet, Helmholtz, Mandl.

« L'air, dit Eustache[1], premier moteur des cordes vocales, détermine par sa percussion la mise en jeu de leur élasticité; elle exécutent des oscillations qui

1. Eustache. *La voix, la parole et leurs organes.* Montpellier, 1869.

viennent à leur tour retentir sur la colonne aérienne qui les a ébranlées ; on sait en effet que la trachée et les bronches vibrent pendant l'émission de la voix ; grâce à ces vibrations et aux modifications de l'orifice d'écoulement, l'air devient en même temps le corps sonore. »

Certes, continue-t-il, le peu de longueur et surtout le peu de variation du tuyau aérien rappellent mal les variations considérables qu'on observe dans les instruments de musique dont le registre est aussi varié que celui de la voix humaine ; mais nulle part aussi il n'y a d'anche aussi souple, aussi parfaite que l'anche vocale. Dans l'orgue, il faudra avec un même orifice d'écoulement avoir un tuyau plus long, si l'on veut avoir un son plus élevé : mais point ne serait besoin de telle différence dans la longueur du tuyau sonore, si l'on pouvait modifier de mille façons l'anche vibrante Et Eustache conclut que *les dimensions de l'orifice de la fente glottique* sont aussi importantes pour la production d'un son d'une hauteur ou d'une intensité donnée que la longueur ou la tension des cordes vocales.

Mueller, Bataille, Fournié, M. Duval sont d'un avis tout à fait opposé, et admettent la vibration des cordes vocales comme cause unique du son. Gay plaide cette cause. On a voulu admettre, nous dit-il, que les vibrations primaires des cordes vocales, quoique évidentes, sont trop faibles pour produire un son. Mais rien ne prouve cette faiblesse du son primitif des cordes vocales, puisque sur le vivant on ne peut pas le séparer de sons qui l'accompagnent.

1. Gay. *Théorie physique de la phonation.* Paris, 1876.

C'est là, au reste, une controverse de physique pure et qui doit se régler entre physiciens. Je n'ai point de compétence pour traiter cette question; mais comme je ne saurais expliquer le mécanisme des registres de poitrine et de fausset au cas où il n'y aurait à tenir compte que des vibrations sonores de l'air, je me range à l'avis de Mueller et de Rossbach dont la grande autorité me semble avoir définitivement tranché la question en faveur des vibrations primitivement sonores des cordes vocales.

« Les motifs suivants, dit Mueller[1], me font regarder comme invraisemblable la théorie qui attribue les sons des anches membraneuses aux pulsations de l'air :

« 1° Il n'y a aucune raison d'admettre que les sons des anches simples proviennent des interruptions du courant d'air, puisque les sons que les anches elles-mêmes doivent donner quand elles vibrent suffisent à l'explication. Si, comme le dit Weber, le son qu'une anche donne par la percussion est beaucpup moins fort que quand on souffle dessus, c'est qu'un choc qui ne se répète pas plus d'une fois ne suffit pas pour entretenir les vibrations comme un souffle continu. A la vérité, il y a des membranes qui, comme le sphincter de l'anus, ne résonnent point pas la percussion, et donnent des sons d'anche très forts par le souffle; mais il ne s'agit jamais, quant à ce qui regarde la manifestation d'un son, que du nombre de vibrations nécessaires pour le produire; or, l'expérience autorise seulement à conclure que dans ces sortes de

1. J. Mueller. *Manuel de Physiologie.* Traduction Jourdan, t. II, p. 168.

membranes, une succession régulière de vibrations n'est possible qu'autant qu'un certain état de tension persiste pendant qu'elles reçoivent le choc de l'air ; et cette condition n'existe pas lorsqu'il s'agit d'une simple percussion.

« 2° Les sons que j'ai produits en soufflant avec un tube délié sur des languettes métalliques, et même encore sur des languettes membraneuses sans chassis, ne sauraient être expliqués par les seules interruptions du courant d'air; ils ressemblent parfaitement, pour le timbre, à ceux que ces languettes rendent quand elles vibrent dans un cadre et agissent comme de véritables anches. A la vérité, on pourrait dire que les vibrations rétrogrades de la languette gênent aussi jusqu'à un certain point le filet d'air sortant du tube ; mais il serait difficile de voir là une interruption réelle, puisque le courant d'air change de direction à mesure que la languette recule. Le filet d'air, qui exerce une action soutenue, est bien plutôt comparable en ceci à l'archet de violon frottant une corde.

« 3° Il n'est pas non plus nécessaire, du moins pour les languettes membranenses, que le chassis se ferme périodiquement pendant les vibrations de la languette Alors même que la fente présente une largeur constante d'une ligne (2 millimètres), les languettes membraneuses donnent souvent encore des sons clairs...

« 4° Si la théorie qui attribue les sons d'anche aux interruptions du courant d'air était exacte, les sons devraient croître en raison directe du nombre des vibrations, ce qui n'est nullement démontré. Il y a une position de la languette par rapport au chassis, dans laquelle elle détermine une fois autant d'interruptions

du courant d'air qu'elle même fait de vibrations; c'est celle dans laquelle elle bat à travers l'ouverture du chassis; car en le traversant, puis en revenant sur elle-même, elle interrompt deux fois le courant d'air; le nombre des interruptions est au moins double de celui qui a lieu quand la languette ne fait que frapper juste dans l'ouverture du chassis et revient aussitôt sur elle-même. Le son d'une languette qui traverse son chassis devrait donc, toutes choses égales d'ailleurs, être plus élevé d'une octave que celui de la même languette exécutant des battements simples : or cela n'a pas lieu. »

On serait tenté d'objecter à ces réflexions que les analogies qui existent entre les anches membraneuses et les cordes vocales laissent subsister entre elles des différences, et que ces différences peuvent précisément s'établir dans le cas particulier, de façon à donner tort à Mueller.

Mais les expériences sur le cadavre ne laissent aucun doute à ce sujet.

Je crois avoir démontré plus haut, à propos de l'occlusion glottique, qu'à tension égale des cordes vocales, le plus ou moins de largeur de la glotte ne modifie pas la hauteur du son. Cela ne suffit-il pas à prouver que ce sont les cordes vocales dont les vibrations déterminent le son, et que ce n'est pas l'air qui vibre le premier en traversant la glotte? car autrement, le son devrait être d'autant plus grave que celle-ci est plus large, ce qui est loin d'être vrai dans tous les cas.

Si l'on veut admettre que l'air est le corps sonore, il faut renverser tout ce que j'ai jusqu'ici établi, n'ac-

corder à la tension active des cordes vocales qu'un rôle très secondaire, repousser toute influence de la tension passive (puisque alors la glotte s'élargit quand le son monte, ce qui est exactement l'inverse de ce qui devrait être dans la théorie supposée) et réhabiliter complètement l'importance de l'ouverture glottique, dont la moindre altération devient un facteur essentiel de la modulation du son. Une telle théorie devrait être jugée d'après les conséquences qu'elle entraîne, si Rossbach ne l'avait d'ores et déjà condamnée sans appel en établissant le mécanisme de la diphthonie.

Chez deux malades observés par Rossbach[1], il y avait aphonie par compression unilatérale du récurrent, amenant la paralysie totale d'une corde vocale. Les malades guérirent; mais avant la guérison complète, il y eut une période dans laquelle la corde vocale paralysée devint mobile et vibrante, mais sans que ses mouvements ondulatoires eussent encore recouvré leur mobilité normale. Dans ce stade intermédiaire à la maladie et à la guérison, où les cordes vocales étaient inégalement tendues, inégalement longues, il y avait *diphthonie;* quand les malades voulaient émettre un son, ils en produisaient deux, et si nettement que ce phénomène était appréciable même pour une oreille non exercée.

Ce double son produit par deux vocales inégalement tendues ne peut être dû qu'à la vibration des cordes vocales elles-mêmes, car, dans les cas précé-

1. Rossbach. *Doppeltönigkeit der Stimme (Diphthongie) bei ungleicher Spannung der Stimmbänder,* in *Archiv. f. pathologische Anatomie,* t. LIV, 1872, p. 571.

dents, il n'y avait pas pendant la phonation d'occlusion de la glotte et partant point d'interruption successive dans le courant d'air expiré. Et d'ailleurs, comment admettre dans le courant d'air expiré la présence simultanée de deux ondes inégalement vibrantes et donnant deux sons distincts?

Voici une dernière objection contre la théorie qui veut que le son vocal soit dû aux vibrations de l'air. Dans un tuyau d'orgue où l'air vibre, le bord de l'anche est exactement encadré, et ferme à chaque oscillation l'orifice d'écoulement de l'air. Mais dans la voix de fausset, jamais la glotte ne se ferme, elle est béante, et l'on peut impunément enfoncer un stylet dans l'espace glottique sans faire varier le son. Dira-t-on qu'il y a dans ce cas des interruptions du courant d'air suffisantes pour produire des cordes sonores?

D'après tous ces motifs, il est évident que les cordes vocales résonnent non point par interruption du courant d'air, mais par leurs propres vibrations, et que les chocs donnés à l'air ne font que renforcer jusqu'à un certain point le son.

CHAPITRE V

QUELLE EST LA PARTIE VIBRANTE DES CORDES VOCALES?

A. — LE MUSCLE THYRO-ARYTÉNOÏDIEN NE VIBRE PAS

Bien des idées sont vraies qui cependant semblent paradoxales et qu'on rejette à tort, souvent faute de les approfondir. Inversement telle doctrine est universellement admise sans vérification par cela même que son enseignement s'accorde au mieux avec les idées généralement reçues, et pourtant elle est erreur. L'inconvénient dans le second cas est pire, car on dote la science d'une notion erronée, qui aura force de loi, à l'abri de laquelle des théories fausses pourront en toute aise se développer, grâce à qui enfin toute hypothèse vraie sera d'emblée écartée, parce qu'elles ne peuvent s'accorder ensemble : le danger est donc double. Dans l'espèce, la vérité enseignée par tous les traités de physiologie, ou presque tous, est la suivante : les divers tissus qui composent la corde vocale sont si intimement unis *qu'on ne saurait concevoir* que l'un d'eux vibre isolément ; quand l'oscillation vocale se produit, elle

doit entraîner tout l'ensemble de la corde vocale. *Ne pas concevoir* est un mode de raisonnement plus commode que scientifique, et qui évite de difficiles recherches expérimentales : malheureusement, tous les esprits n'étant point formés de la même façon, leurs conceptions sont diverses; celui-ci conçoit ce que l'autre ne saurait concevoir... Henle dit : « Les fils musculaires pénètrent si avant dans les cordes vocales et sont si intimement unies à la couche élastique qu'on *ne peut se figurer* que celle-ci vibre isolément... » Mais Fournier au contraire ne *saurait admettre* que le courant d'air soit suffisamment puissant pour mettre en vibration un corps aussi résistant que le muscle vocal contracté. Et ainsi de suite.

Il y a cependant un moyen simple de concilier toutes les opinions, et de donner à la théorie une base assez sûre, pour que toute conception adverse qui naîtrait d'ailleurs ne pût prévaloir contre elle : je veux parler du procédé expérimental. Je suis si bien persuadé qu'en ces sortes de controverses une expérience peut rendre son verdict sans appel, que dans tout ce qui va suivre je ne crains pas de me mettre en contradiction avec toutes les doctrines enseignées jusqu'à ce jour au sujet du mécanisme de la phonation, puisque, durant mes recherches bibliographiques, j'ai trouvé beaucoup de théories voisines de la mienne, aucune identique.

Il y a trois parties constituantes des cordes vocales :

La muqueuse;

La corde fibreuse;

Le muscle thyro-aryténoïdien interne.

Or, j'admets que *jamais le muscle ne vibre*. Cela n'est point une conception ou une vue de l'esprit, non

plus qu'une déduction habilement tirée de la structure anatomique des parties : c'est un fait brutalement expérimental.

J'ai montré plus haut (1re partie, ch. III) qu'un chien à qui on enlève les cordes vocales ligamenteuses, tout en respectant le muscle thyro-aryténoïdien, devient aphone; et j'ai été en droit de conclure de cette expérience « que les sons du registre de poitrine sont dus uniquement aux vibrations de la partie ligamenteuse des cordes vocales, et que le muscle thyro-aryténoïdien ne vibrait pas pendant leur émission ».

Et maintenant que ce fait est démontré par l'expérimentation, il importe de rechercher s'il concorde ou se met en contradiction avec les principes fondamentaux de la phonation.

Les auteurs classiques qui enseignent que le muscle thyro-aryténoïdien vibre pendant la phonation, et qui d'autre part admettent que ce muscle est tenseur des cordes vocales, se trouvent dans la nécessité d'expliquer comment il se fait que l'anche vocale rende un son d'autant plus élevé qu'elle est plus épaisse. Que ce fait soit absolument en contradiction avec la loi de la physique, on s'en inquiète peu; on sauve la théorie en admirant le merveilleux agencement du corps humain, et chemin faisant on se dispense de toute explication. L'anche humaine est la *seule qui se tende en s'épaississant*.

Cette forme de phrase a fait fortune. Par malheur il est aujourd'hui parfaitement démontré que l'anche humaine *s'amincit* à mesure qu'elle se tend.

« Malgaigne avance que l'épaisseur de la partie vibrante des rubans vocaux diminue à mesure que leur

tension augmente; il développe dans plusieurs passages cette pensée, que cet amincissement contribue pour sa part à l'élévation du ton. Cette remarque est très juste, ajoute le professeur Gavarret, car l'amincissement s'accompagne nécessairement d'une diminution du poids de la partie vibrante, et par suite favorise l'accélération du nombre des vibrations [1]. »

Stoerk[2] a pratiqué l'examen laryngoscopique chez des sujets maigres dont le larynx était éclairé de bas en haut à l'aide d'une forte lumière dirigée sur le cou et pénétrant dans la trachée à travers les tissus. « Quand on fait tomber extérieurement une lumière intense sur la partie inférieure du larynx, on voit dans le miroir laryngoscopique la lumière paraître de mieux en mieux à travers les cordes vocales à mesure que le son monte, jusqu'à ce que, dans le registre de fausset, il semble n'y avoir plus qu'une fine membrane qui recouvre la source lumineuse. »

On n'est donc plus en droit d'admettre que, par un privilège spécial, l'anche vocale soit la seule qui se tende en s'épaississant, puisqu'au contraire elle s'amincit en se tendant. Au reste, chaque fois qu'une théorie se met en opposition directe avec les lois naturelles ou physiques, et appelle à son aide la suprématie de l'action vitale ou tout autre principe métaphysique de même acabit, on peut être assuré qu'elle est fausse.

Voyons maintenant si d'autre part le rôle vibrant du muscle s'accommode mieux avec ses fonctions récemment démontrées de relâcheur de la glotte : mais on le place alors dans une situation bizarre. Le

1. Gavarret. *Loc. cit.*, p. 565.
2. Stoerk. *Klinik der Krankheiten des Kehlkopfes*, p. 65.

muscle thyro-aryténoïdien relâche la corde vibrante, c'est démontré ; mais si la corde vibrante c'est lui, il s'en suit qu'en *se contractant il se relâche lui-même :* cela serait absolument drôle ! De sorte que ni ses anciennes fonctions de tenseur, ni son emploi nouveau de relâcheur de la glotte ne sauraient être compatibles avec l'état d'élément vibratoire des cordes vocales.

Veut-on que je récapitule les raisons qui plaident en faveur de cette doctrine? Les thyro-aryténoïdiens ne vibrent pas durant la phonation :

1° Parce que, dans l'observation directe des larynx d'animaux qui crient, on ne les voit pas vibrer;

2° Parce que les chiens à qui on enlève seulement les cordes vocales ligamenteuses deviennent aphones;

3° Parce que, dit Fournié, on ne peut concevoir que ce muscle contracté puisse se laisser mettre en vibration par un faible courant d'air (?);

4° Parce que, suivant Jelenffy, ce muscle épais, prismatique, adhérent en grande partie aux régions voisines, ne saurait produire les claires vibrations de la voix de poitrine (?);

5° Parce que si l'on considère le thyro-aryténoïdien comme muscle tenseur, il faut admettre que l'anche vocale se tend en épaississant alors qu'il est démontré qu'elle s'amincit à mesure qu'elle se tend;

6° Parce que si l'on admet que le muscle relâche les lèvres de la glotte, on arrive à cette conclusion absurde qu'il se relâche d'autant plus qu'il se contracte.

Le muscle thyro-aryténoïdien ne vibre donc jamais pendant la production de la voix de poitrine, à plus forte raison pendant l'émission de la voix de tête.

La partie vibrante de la corde vocale est donc cons-

tituée par la corde ligamenteuse recouverte de la muqueuse. Il est bon de faire remarquer que tout ce que j'ai dit au sujet de l'action du tenseur, du relâcheur de la glotte, ou de la position de l'intonation normale se comprend aisément dans cette hypothèse ; au lieu que si l'on admet les vibrations vocales du muscle thyro-aryténoïdien contracté, on retombe dans la confusion ancienne sans espoir d'en sortir.

Mais ici se pose une autre question. La corde vocale ligamenteuse et la muqueuse qui la recouvre vibrent-elles en masse? ou bien l'oscillation vocale peut-elle se limiter à un seul de ces tissus? Non seulement je crois, mais je suis certain que la muqueuse vocale peut vibrer pour son compte et indépendamment de la couche fibreuse : en cela même réside le secret du mécanisme de la voix de fausset.

B. — DU MÉCANISME DES REGISTRES DE POITRINE ET DE FAUSSET

Arrivé en ce point de mon étude, je crois le moment venu de définir la théorie des registres de poitrine et de fausset telle que je l'ai déduite de mes expériences sur les larynx de cadavre. Je n'admets pas dans la phonation un troisième registre dit « voix mixte », et je suis absolument de l'avis de Vacher quand il écrit : « Quant à la voix mixte, elle me paraît formée de la même manière que la voix de poitrine, car j'ai constaté que la glotte ne changeait pas de forme dans l'émission d'un son de cette nature ; seulement les vibrations sont adoucies, diminuées de force par l'art du chanteur. »

J'admets donc :

Que dans la *voix de poitrine* le muscle thyro-aryténoïdien est toujours contracté.

La corde ligamenteuse et la muqueuse vibrent ensemble.

Que dans *la voix de tête*, le muscle thyro-aryténoïdien se relâche.

La corde ligamenteuse ne vibre pas.

La muqueuse seule vibre.

Tout cela n'est pas une hypothèse, mais une théorie qui procède des faits. Dans la partie purement expérimentale de ce travail, j'ai consacré deux chapitres à étudier toutes les modifications qui se passent dans la glotte pendant la production de ces deux registres ; je n'y reviendrai pas pour éviter de fastidieuses redites. Le fait est tel : la conclusion qui en découle s'impose. Reste à trouver l'explication intermédiaire que chacun peut imaginer à sa guise. Je ne prétends pas expliquer *pourquoi* les voix de poitrine et de tête sont produites de cette façon : je me contente d'établir *comment* elles sont émises. Si, d'une part, j'ai expérimentalement démontré ces faits, et si, d'autre part, je prouve qu'ils s'accordent parfaitement avec nos connaissances anatomiques, physiologiques et laryngoscopiques sur cette matière, sera-t-on en droit de m'accuser d'erreur parce que je n'en aurai pas trouvé d'interprétation absolument claire et de nature à frapper les esprits?

Au reste, si l'on veut une explication, en voici une plausible.

Dans le registre de poitrine : le thyro-aryténoïdien

en se contractant repousse en dedans la corde ligamenteuse et rétrécit la glotte; par suite de cette contraction, la corde ligamenteuse se décolle du muscle, en même temps que le rétrécissement de la glotte augmente la tension de l'air : la corde fibreuse ainsi libérée, mise en mouvement par un courant d'air assez fort, vibre en entraînant la muqueuse.

Dans le registre de fausset : le muscle thyro-aryténoïdien relâché permet à la glotte de se laisser distendre par le courant d'air expiré, qui éprouvant moins de résistance à franchir l'anneau laryngien diminue sa pression; le courant d'air devenu trop faible pour faire vibrer la couche fibreuse, maintenant accolée au muscle, détache la couche muqueuse qui vient vibrer dans la lumière de la glotte.

Et maintenant, si l'on veut me demander pourquoi j'admets tout cela, je répondrai : parce que cela est. Encore une fois, que l'interprétation que j'en donne soit trouvée mauvaise, j'y consens; vienne quelqu'un qui en trouve une meilleure et je me rangerai immédiatement à son avis. Mais le fait fondamental, expérimental est indéniable : la membrane seule vibre dans la voix de fausset, la corde ligamenteuse et la muqueuse vibrent ensemble dans la voix de poitrine. Que si l'on trouve dans l'histoire normale et pathologique de la phonation un seul fait qui ne s'accorde pas avec cette doctrine, j'y renonce tout le premier. Aussi bien vais-je essayer de démontrer que ce fait n'existe pas.

C. — CONSIDÉRATIONS HISTORIQUES

En établissant la théorie précédente je ne prétends

point faire œuvre d'innovateur. Le principe sur lequel elle repose, qui place la cause de la distinction des registres dans la différence de volume et de nature des anches vibrantes, a depuis longtemps déjà été conçu. Si parmi les doctrines nombreuses professées sur ce sujet on veut bien faire une sélection spéciale, on en trouvera un grand nombre qui admettent ce principe et qui ne diffèrent de mon opinion que par leur localisations anatomiques; les citer sera fournir à ma théorie la tutelle d'autorités incontestées. Aucune d'elles n'est rigoureusement semblable l'une à l'autre, mais toutes résultent du même principe : la masse et non point la longueur de l'anche variant suivant le registre; à travers leurs divergences de détails, il sera aisé de saisir leur analogie fondamentale.

1835. — Lehfeldt[1] a observé que dans la voix de poitrine les cordes vibrent *dans toute leur épaisseur*, y compris le muscle thyro-aryténoïdien, tandis que dans la voix de fausset les vibrations sont *limitées à leur bord interne;* dans les deux cas les cordes vocales ont la même longueur. Lehfeldt est donc le premier qui ait attribué les différences de registre aux différences de volume de l'anche vibrante.

1840.—Le passage suivant du mémoire de Garcia[2], où il est traité du mécanisme de la voix mixte, est des plus intéressants au point de vue actuel :

« Certains sons très aigus et très minces de la voix de poitrine sont produits suivant nous *par les vibra-*

1. Lehfeldt. *Nonnulla de vocis formatione,* in *Diss. inaug. phys.* Berlin, 1835.
2. Garcia. *Mémoire sur la voix humaine,* in *Mémoire de l'Acad. des sciences,* 1840.

tions seules des bords de la glotte...; qu'un chanteur convenablement exercé relâche complètement les muscles extrinsèques, que, ensuite, au moyen d'une contraction bien calculée du thyro-aryténoïdien et du crico-aryténoïdien postérieur,il rapproche jusqu'à les réunir presque l'un à l'autre les ligaments de la glotte et qu'en outre il amincisse de plus en plus la colonne d'air jusqu'à la réduire à un filet très délié, il obtiendra des sons d'une extrême ténuité, et en même temps d'une pureté et d'une clarté parfaite. Ces notes n'atteignent tout leur éclat qu'à partir du *mi*$_3$. De ce point elles peuvent s'élever chez les ténors jusqu'au *ut*$_4$, *ré*$_4$, *mi*$_4$. On entend de même les basses tailles profondes donner le *fa* , le *sol*$_3$, le *la*$_3$ ... Il ne tiendra qu'au chanteur de s'assurer que ces sons appartiennent réellement au registre de poitrine : il lui suffira d'augmenter la pression de l'air, de contracter les parties de l'organe qu'il tient dans un état de relâchement; alors les vibrations des ligaments vocaux se communiqueront *à l'instrument tout entier*, sans secousse et sans changer de nature jusqu'à prendre la puissance des sons de poitrine. »

Il me semble que Garcia fait ici confusion, et que les sons qu'il attribue à la voix mixte appartiennent en réalité à la voix de tête; le MI^4 des ténors, le LA_5 des basses profondes sont des notes de fausset et jamais ne sont données en voix de poitrine.

Et puis, quelles sont, suivant Garcia, les modifications laryngiennes nécessaires pour passer de cette prétendue voix mixte à la voix de poitrine? augmenter la pression de l'air, contracter les parties de l'organe qui étaient dans un état de relâchement, faire en sorte

que les vibrations *limitées au bord de la glotte* se communiquent à l'*instrument tout entier*, n'est-ce pas au fond exactement le même mécanisme que celui que j'ai indiqué pour le passage de fausset en poitrine?

1845. — Mueller[1] a expérimentalement établi une théorie qui aujourd'hui encore demeure debout, tandis que d'autres doctrines plus jeunes mais contraires à la sienne sont depuis longtemps renversées. On peut d'après lui considérer les sons de fausset comme les sons flûtés des notes de poitrine; car pour les produire, les parties aliquotes non de la longueur, mais de la largeur des cordes vocales, entrent en vibration pendant que les autres sont simplement distendues par l'air. Dans les sons de fausset comme dans les sons de poitrine les cordes vocales vibrent dans toute leur longueur; seulement pour produire les premiers *leurs bords seuls entrent en vibration*, tandis que dans le second cas *la corde vocale vibre dans toute son épaisseur*. La cause du registre de poitrine c'est la contraction du thyro-aryténoïdien qui exerce une pression latérale de dehors en dedans sur la corde vocale ligamenteuse.

1853. — Harless[2] prouve expérimentalement que la *vibration des bords de la corde vocale* produit la voix de tête, tandis que la *vibration de toute la corde vocale* produit la voix de poitrine.

1862. — Merkel[3] admet trois registres: registre de poitrine où *les cordes vocales vibrent entières*; registre

1. J. Mueller. *De la voix, de l'organe vocal et des autres organes producteurs des sons chez l'homme et chez les animaux*, in *Manuel de physiologie*. Traduction. Jourdan, t. III, p. 167.

2. Harless. *Stimme* in *Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*, Bd. IV

3. G.-L. Merkel. *Die Functionen des menschlichen Schlund und Kehlkopfes*. Leipzig, 1862.

de médium et de fausset, où *les bords seuls des cordes vocales vibrent* et où *le muscle thyro-aryténoïdien se détend*.

1868. — Helmholtz[1] attribue à un phénomène purement physique la différence de timbre et de hauteur des deux registres. « Au-dessous des fibrilles particulièrement élastiques des cordes vocales se trouve un tissu très mou qui vraisemblablement joue un rôle dans la voix de poitrine en chargeant les cordons élastiques et en ralentissant leurs vibrations. La voix de tête prend vraisemblablement naissance lorsque la membrane muqueuse située entre les cordes vocales est tirée de côté, ce qui rend plus tranchant le bord des cordons, diminue le poids de la partie vibrante, tandis que l'élasticité reste la même. »

« Cette action, ajoute Bergonié[2], serait donc analogue à celle des masses mobiles qu'on promène sur les anches de certains diapasons inscripteurs pour modifier leur nombre de vibrations. L'explication est assez séduisante : cependant, en admettant même, ce qui semble difficile, que le poids de ce tissu soit assez considérable pour modifier aussi fortement les conditions de vibration, on ne se rend pas très bien compte du mouvement du tissu en question du bord tranchant des cordes vocales jusqu'à leur partie adhérente. »

1869. — Marcet[3] conclut de ses observations que les sons de tête ou de fausset sont vraiment produits *par*

1. Helmholtz. *Traité physiologique de la musique.* Traduction fran. Paris, in-8, 1868.
2. Bergonié. *Phénomènes physiques de la phonation.* Paris, 1883, p. 65.
3. W. Marcet. *On the falsetto or head sounds of the human voice* in *The London, Edimburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of science*, t. XXXVII, 1869, p. 289.

la limitation des vibrations aux bords des cordes vocales. Mais les faits pathologiques sur lesquels il se fonde pour établir une explication d'ailleurs fort obscure de sa doctrine, semblent plutôt faire croire que les sons sont dus à un raccourcissement des cordes vocales. Il admet dans les cordes vocales des nœuds de vibration parallèles à leurs bords; quand toute la largeur des cordes vocales vibre, les sons harmoniques dus à cette division en bandes longitudinales ne sont pas entendus et le son produit est un son de poitrine; mais si par un mécanisme spécial (accolement des cordes vocales sur une partie de leur longueur), les bords viennent seuls à vibrer, de la vibration de la bande élastique étroite comprise entre les bords des cordes et l'un des nœuds de vibrations parallèles situés le plus près du bord naît une harmonique qui est un son de fausset.

1870. — Donders[1] a établi une théorie des registres de poitrine et de fausset qui, grâce à l'enseignement du professeur Gavarret, tend à se vulgariser parmi les médecins français.

Voici cette théorie :

« Lorsqu'un chanteur passe de la voix de poitrine à la voix de fausset, la partie vibrante de l'anche vocale change de longueur; sa partie fixe, qui était située, dans le premier cas, tout contre la paroi des cartilages, s'avance vers l'axe de la cavité laryngienne et *un nœud de vibration se forme, à l'union du muscle thyro-aryténoïdien avec la fibreuse qui le recouvre.*

Donc (pour ne m'occuper que de ce qui m'intéresse en ce moment, je laisse de côté la question de savoir

1. Donders. *De physiologie der Spraakklanken*, 1870.

si les vibrations vocales se propagent ou non aux apophyses antérieures des cartilages aryténoïdes) Donders admet que dans la voix de poitrine la corde vocale tout entière vibre, tandis que dans la voix de tête, la vibration se limite à la corde ligamenteuse. De ces différences de volume des anches, résultent des différences de timbre, et de hauteur des registres. D'après l'auteur hollandais, les muscles thyro-aryténoïdiens, *contractés dans la voix de poitrine*, acquièrent une élasticité qui leur permet de vibrer sous l'influence de la pression du courant d'air; dans la voix de fausset, ce *muscle se relâche*, et devient dès lors un tissu mou incapable d'entrer en vibration, de sorte que l'oscillation sonore se limite alors à la couche ligamenteuse. Dans ces deux cas, les changements de ton sont dus aux modifications de la tension des cordes vocales assurées par la contraction des muscles crico-thyroïdiens et crico-aryténoïdiens postérieurs. Cette théorie n'est en désaccord avec aucune donnée anatomique, physiologique, ou musicale; seules, mes expériences semblent la contredire. Elle constitue néanmoins un mmense progrès dans la physiologie de la phonation, surtout parce qu'elle est la première qui admette les vibrations indépendantes des différents tissus des cordes vocales.

1872. —Mandl[1] dont je ne veux point citer la théorie, car elle faisait du changement de longueur de la glotte la distinction anatomique de deux registres, admettait cependant une certaine *diminution de la largeur de la corde vocale* dans le registre du fausset, cette dimi-

1. Mandl. *Traité pratique des maladies du larynx et du pharynx.* Paris, 1872.

nution étant opérée par les cordes vocales supérieures, qui descendant sur leurs voisines, à la façon des rasettes d'une anche, venaient limiter à leurs bords libres les vibrations vocales.

1876. — Michael[1] à l'aide de manipulations externes pratiquées sur les larynx sains, et surtout en observant des cas de parésies laryngées, limitées à un seul muscle, arrive aux conclusions suivantes : il y a trois registres : poitrine, médium et fausset. Le caractère fondamental de ces deux derniers est que *les bords seuls des cordes vocales vibrent*, tandis que dans le registre de poitrine, l'*oscillation vocale se propage à toute la corde*. Dans le registre de médium, le *thyro-aryténoïdien se contracte*, redresse la corde vocale, et libère la membrane élastique, qui d'après Ruehlmann n'adhère à aucune fibre musculaire ; celle-ci vibre donc seule, au dire de Ludwig. Le phénomène capital qui se produit quand on atteint le registre de fausset, c'est *le relâchement* du thyro-aryténoïdien.

1874. — Schnitzler[2] a vu, dans la voix de tête, un sillon longitudinal sur la corde vocale, parallèle à son bord libre, sillon qui disparaît dans la voix de poitrine où la corde vocale vibre tout entière.

1878. — Oertel[3] recommande d'éclairer le larynx à la lumière électrique, interrompue à l'aide d'un disque circulaire perforé et tournant de façon à donner de rapides alternatives de lumière et d'obscurité. Le

1. J. Michael. *Zur Physiologie und Pathologie des Gesanges* in *Berliner klin. Wochenschr.*, n° 36 et 37, 1876.

2. Schnitzler. *Klin. Betrachtungen*, etc... *Vorgetragen in der 47e Versammlung deutscher Naturforscher. und Aerzte*, 1874.

3. Oertel. *Laryngostroboskopische Beobachtungen ueber die Bildung. der Register bei der menschlischen Stimme*, in *Centralblatt für die med. Wissenschaften*, 1878, p. 81-99.

nombre des interruptions lumineuses doit être le même que le nombre des vibrations de la note vocale ou de son octave. Oertel appelle cette façon d'examiner le larynx la : *Laryngostroboskopische Untersuchungsmethode :* grâce à elle il a pu constater que « les notes du registre de poitrine sont produites par la vibration des cordes vocales entières, tandis que les notes de fausset sont dues à des divisions longitudinales des cordes vocales par des lignes nodales. »

1879. — Gruetzner[1] ne peut comprendre le mécanisme par lequel les cordes vocales épaisses durant la voix de poitrine, deviennent minces en registre de fausset, qu'en admettant que les thyro-aryténoïdiens interne et externe et les crico-aryténoïdiens latéraux, qui pendant la voix de poitrine repoussent en dedans la masse des cordes vocales, restent *relativement inactifs* pendant la voix de fausset. Cependant il trouve exagéré d'admettre, comme le fait Merkel, que la seule particularité qui distingue le registre de tête du registre de poitrine soit l'inaction du thyro-aryténoïdien ; il croit que certains faisceaux du muscle vocal — principalement les médians — entrent en action pendant l'émission des sons de fausset.

1880. — Jelenffy[2] enseigne que le caractère fondamental qui différencie le son de poitrine du son de tête consiste uniquement dans la différence de forme de la glotte.

Dans le son de poitrine, la glotte est linéaire, la

1. Gruetzner. *Physiologie der Stimme und Sprache* in *Handbuch der Physiologie herausgegeben von Dr L. Hermann.* Band I, Theil II, p. 98, 1879.
2. Jelenffy. *Der musculus vocalis und die Stimmregister,* in *Pflügers Archiv,* t. XXII, 1880.

fermeture complète; l'air sous-glottique est à une forte pression, les cordes vocales se touchent à chaque vibration en fermant la glotte, la colonne d'air est à chaque instant interrompue : le son est plein et fort.

Mais dans le son de fausset où l'occlusion glottique ne peut jamais être complète, l'air sort sans interruption et ne peut avoir une forte tension : le son est doux mais faible.

Le muscle thyro-aryténoïdien préside, *par son degré de contraction*, à la forme de la glotte. *Dans le registre de poitrine il se contracte*, oppose une résistance à l'air, et exerce sur les cordes vocales une pression latérale qui les accole sur toute leur longueur. Mais dès que ce *muscle se relâche, la voix passe en fausset*, une partie de la force aérienne est détruite par suite de l'élasticité de la paroi obturatrice; les cordes vocales dans ce cas sont poussées en dehors beaucoup plus qu'il n'est nécessaire et ne peuvent plus venir en contact. De sorte que de la contraction complète du muscle vocal résulte la voix de poitrine, tandis que dans la voix de tête, il suffit qu'il possède un certain degré de tension. Enfin Jelenffy est dans tous les cas partisan de la non-vibration du muscle thyro-aryténoïdien.

1880. — En voix de poitrine, dit Techmer[1], les cordes vocales rapprochées *par la contraction* du thyro-aryténoïdien vibrent dans *toute leur largeur*. En voix de fausset (où quelques faisceaux postérieurs du thyro-aryténoïdien se contractent seuls), les vibrations n'ont lieu que dans leur *bord interne*.

1. F. Techmer. *Zur vergleichenden Physiologie der Stimme und Sprache. Phonetik*, Leipzig, Engelman, 1880.

1884. — Enfin Lennox Browne fait remarquer que si l'on fait la laryngoscopie en se contentant d'envoyer de l'extérieur une forte lumière sur la trachée, dans le *thick register* (voix de poitrine) les cordes vocales paraissent opaques tandis qu'elles deviennent transparentes dans le *thin register* (voix de tête).

Si l'on compare entre elles ces deux théories, qui au premier abord semblent diverses, on verra qu'il s'en dégage trois notions communes, généralement admises, à savoir que :

1° Le muscle thyro-aryténoïdien interne se contracte dans la voix de poitrine et se relâche dans la voix de fausset ;

2° La corde vocale vibre en entier dans la voix de poitrine et seulement par son bord libre dans la voix de fausset ;

3° Dans la voix de poitrine la glotte est close et la pression de l'air assez considérable : dans la voix de fausset, la glotte reste ouverte, et la tension aérienne est beaucoup moindre.

J'ai adjoint à ces trois principes, qui me semblent actuellement démontrés, un quatrième dont il a été jusqu'ici fort peu fait mention : *la non-vibration du muscle thyro-aryténoïdien* aussi bien en voix de poitrine qu'en voix de fausset.

Seulement, à l'inverse des auteurs qui n'appuient leurs démonstrations que sur un seul mode d'investigation préféré par eux, après avoir déduit ma théorie d'expériences faites sur les larynx de cadavres, je vais montrer qu'elle est absolument d'accord avec toutes

1. Lennox Browne et Emil Behnke. *Voice, song and speech.* London 1884, p. 166.

les notions anatomiques, physiologiques, laryngoscopiques, pathologiques et même musicales que nous savons admises dans l'état actuel de la science.

D. — PREUVES ANATOMIQUES, PHYSIOLOGIQUES, LARNYGOSCOPIQUES, ETC.

1° *Au point de vue anatomique* la théorie s'accorde parfaitement avec ce que nous savons de la structure des cordes vocales inférieures.

Il n'y a point, ainsi qu'on l'a enseigné longtemps, d'adhérence entre la couche musculaire et la couche fibreuse. Toutes les digitations du thyro-aryténoïdien que Battaille et Rossbach et d'autres ont fait insérer en divers points de la corde ligamenteuse sont des subtilités de dissection. Ludwig, Ruehlmann, Michael et bien d'autres auteurs allemands nous disent qu'il n'y a aucune adhérence entre ces deux couches; et Henle se trompe quand il admet une union intime entre ces deux tisssus dont les fibres se pénétreraient mutuellement d'une façon à peu près inextricable. Ruehlmann[1] est surtout affirmatif sur ce point : « Il faut répéter encore ici (p. 291) qu'il n'y a aucune insertion du muscle sur la corde ligamenteuse. »

L'opinion suivante du professeur Sappey[2] doit être prise en grande considération. « En dedans ce faisceau (fibres horizontales du thyro-aryténoïdien) répond aux ligaments thyro-aryténoïdiens inférieurs.

1. Ruehlmann. *Untersuchungen ueber das Zusammenwirken der Muskeln bei einigen häufiger vorkommenden Kehlkopfstellungen, Loc. cit.*
2. Sappey. *Traité d'anatomie descriptive*, 3e édit., Paris, 1879, t. IV, p. 427.

Aucune des fibres qui le composent ne s'y insèrent, en sorte qu'on l'en détache toujours facilement. Chez quelques individus, il n'existe même entre le muscle et le ligament qu'un tissu cellulaire séreux. Sur un homme dont tous les muscles du larynx étaient très développés, j'ai trouvé des deux côtés une bourse séreuse. »

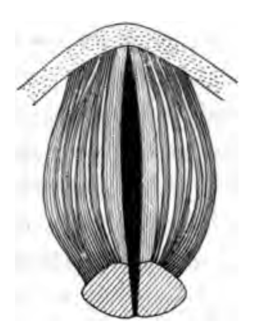


Fig. 13.

La figure 13, que j'emprunte à Gruetzner, montre que les faisceaux qui composent le thyro-aryténoïdien interne sont à peu près parallèles, s'anastomosent peu entre eux et dans tout leur trajet ne font que s'accoler au bord externe des cordes fibreuses sans s'y attacher le moins du monde.

En disséquant des larynx d'hommes et de chiens, j'ai toujours pu décoller très aisément, même avec le manche du scapel, la couche ligamenteuse du muscle sous-jacent; j'ai seulement remarqué qu'à leurs deux extrémités les cordes fibreuses reçoivent sur leurs bords externes les insertions de quelques fibres émanées des bords internes des muscles thyro-aryténoïdiens.

Puisque ces deux couches des cordes vocales ne

contractent entre elles aucune adhérence, rien n'empêche qu'il se produise un nœud de vibrations longitudinal en leur point de séparation et que l'une d'elles puisse vibrer sans l'autre. Au reste, l'existence du tissu cellulaire lâche et la possibilité d'une bourse séreuse signalée par Sappey ne peuvent se comprendre que si l'on admet un mouvement incessant de va-et-vient entre elles, mouvement qui n'existerait point si ces deux couches vibraient ensemble.

De la même façon il peut arriver que la membrane muqueuse ait un mouvement de vibration propre, car elle n'adhère pas non plus à la couche ligamenteuse sous-jacente. Sans remonter à Claude Perrault[1] qui admet la vibration isolée de la muqueuse, on peut trouver dans les auteurs modernes des démonstrations probantes de ce fait anatomique. D'après Fournié[2] la couche muqueuse est unie à la membrane fibreuse par un tissu cellulaire excessivement lâche qui permet d'assimiler, jusqu'à un certain point, cette partie des rubans vocaux à la bourse séreuse qui entoure certains tendons.

Krishaber a peine à admettre l'adhérence intime de la muqueuse à la corde fibreuse, car elle ne s'accorde pas du tout avec les données laryngoscopiques.

« ... Quant à la muqueuse qui les recouvre, dit-il [3], elle est suivant les anatomistes très intimement liée à la trame sous-muqueuse. L'observation laryngoscopique nous fait voir cependant que des suffusions sous-

1. Cl. Perrault. *Traité du bruit*. Paris, 1680.
. Fournie. *Physiologie de la voix et de la parole*, p. 124.
3 Krishaber et Peter. Art. LARYNX. *Dict. encyclop. des sc. méd.*, 2e série, t. Ier, p. 505.

muqueuses se forment avec une bien plus grande rapidité même sur des cordes vocales saines... »

Martel[1] qui a repris l'étude de cette question donne d'excellentes preuves en faveur de l'indépendance de la muqueuse laryngée. — *a*. Sur un larynx frais on peut avec une pince fine soulever la membrane vocale sous forme d'une muqueuse mince et transparente. — *b*. En injectant sous cette muqueuse, au niveau du bord libre des cordes vocales, une solution colorée, on la voit se diffuser sans rencontrer d'obstacle, et envahir un territoire constant. — *c*. Enfin sur un larynx frais qu'on fait parler, on voit cette muqueuse se détacher de la corde ligamenteuse et venir vibrer dans l'espace glottique.

J'ai pu reproduire ces expériences de Martel qui sont d'une exactitude rigoureuse. J'ai injecté dans l'épaisseur de la corde vocale une solution de gélatine colorée par l'indigo; puis examinant au microscope des coupes transversales de corde ainsi préparée, j'ai observé que non seulement l'injection avait décollé la muqueuse de la corde fibreuse, mais pénétrant plus profondément avait séparé la couche fibreuse du muscle vocal.

De tout ce qui précède il résulte donc, que d'une part le muscle vocal n'adhère pas du tout à la corde ligamenteuse, et que d'autre part la muqueuse n'adhère pas non plus à cette couche fibreuse; de sorte qu'entre ces trois couches il peut s'établir des lignes nodales longitudinales, parallèles aux bords de la

1. Martel. *Physiologie de la phonation*, in *Revue bibliogr. univ. des sc. méd.*, t. II, n°s 13 et 15, 1885.

glotte, et qui peuvent rendre leurs vibrations indépendantes.

Il y a du reste une autre preuve anatomique qu'on peut invoquer en faveur de la vibration isolée de la muqueuse vocale : c'est sa structure.

Arrivée au niveau du bord libre des cordes vocales, à l'endroit où elle cesse d'être adhérente, la muqueuse, dans toute la partie qui doit isolément vibrer, subit une modification de structure importante : elle s'épaissit, se cutanise. D'après les recherches de Coyne[1], le derme, au lieu d'être formé de tissu adénoïde réticulé, se transforme en un tissu fibro-élastique dense, hérissé de papilles simples, existant surtout sur la partie anguleuse de la corde vocale inférieure : en cet endroit l'épithélium devient pavimenteux et stratifié, et présente la plus grande analogie avec l'épiderme cutané.

Cette cutanisation de la muqueuse laryngée au niveau des cordes vocales inférieures vient encore d'être confirmée par les recherches récentes de Leroy[2] qui a montré que le processus tuberculeux évolue en ce point en déterminant des modifications analogues à celles que Vidal et Leloir ont signalées dans le lupus érythémateux et scléreux de la peau.

Pourquoi la muqueuse laryngée se transforme-t-elle ainsi au niveau des cordes vocales inférieures? Est-ce pour résister aux frottements de l'air, comme on l'admet généralement? mais peut-on comparer le

1. P. Coyne. *Recherches sur l'anatomie normale de la muqueuse du larynx*, in *Archives de Physiologie*, 1874, t. Ier, 2e série, p. 92.

2. C. Leroy. *De la tuberculose laryngée considérée dans ses rapports avec celle de la peau*, in *Archives de phys. normale et pathol.* n° 7, 30 sept. 1885, p. 351.

glissement d'une colonne d'air sous pression toujours faible, au contact rude et brutal des aliments sur la muqueuse buccale, ou des corps environnants sur la peau, et admettre de la part de ces trois influences une nocivité égale, nécessitant la présence d'un épithélium pavimenteux stratifié? Dans la toux, dans l'effort où les cordes vocales supérieures viennent en contact, la pression de l'air est bien autrement forte que pendant la phonation, et quand cet air s'échappe, il s'écoule brusquement; et cependant malgré le frottement beaucoup plus considérable qui se produit en ce point, jamais on ne voit la muqueuse des cordes vocales supérieures s'épaissir ni perdre son épithélium cylindrique.

Il me semble au contraire que si l'anatomie nous démontre qu'au niveau de la corde vocale inférieure la muqueuse vocale devient libre en même temps qu'elle prend une épaisseur plus grande, la physiologie peut bien admettre que cette muqueuse est susceptible de vibrations indépendantes et que ces vibrations mettent en mouvement une masse suffisante pour produire le son de la voix de fausset.

2° *Au point de vue physiologique*, le fait subjectif remarquable qui se produit au moment du passage de la voix de tête en voix de fausset est une sensation bien nette de détente localisée au larynx : cette sensation coïncide avec le relâchement du muscle thyro-aryténoïdien qui du reste l'explique parfaitement. A mesure que le son s'élève en voix de poitrine, le muscle tenseur fait effort de plus en plus grand : en même temps le thyro-aryténoïdien reste contracté à un certain degré de façon à déterminer la vibration de la

corde ligamenteuse; mais tandis qu'il a cet effet utile, il tend aussi à produire une action contraire à celle qu'on recherche, puisque sa contraction, déterminant un relâchement de la corde vocale, va à l'encontre de celle du crico-thyroïdien : le thyro-aryténoïdien se laisse alors étirer, mais résiste de plus en plus à mesure que le son s'élève; à ce moment la lutte vocale entre ces deux muscles antagonistes est à son maximum, et le chanteur éprouve une forte et pénible sensation de contraction du larynx ; souvent le thyro-aryténoïdien cède, la voix passe en fausset, il n'y a partant plus de lutte entre muscles antagonistes, et la sensation de détente laryngienne si connue se produit.

Un autre point est digne d'être pris en considération. J'ai dit ailleurs que dans la voix de poitrine la fente glottique est étroite, et que les cordes vocales repoussées en dedans par le gonflement du thyro-aryténoïdien contracté se touchent en vibrant, tandis que dans la voix de tête l'ellipse glottique reste toujours béante et les lèvres de la glotte ne peuvent jamais venir en contact. Ces différentes formes de glotte ont pour effet de produire des variations remarquables dans la pression de l'air expiré. D'une façon générale on peut dire que la voix de poitrine nécessite une faible dépense d'air, mais exige que cet air soit à une tension très élevée, tandis que dans la voix de tête la pression de l'air est bien moindre, mais sa dépense plus forte. La dépense d'air sera donc moins grande pour une note de poitrine que pour une note de fausset, car dans le premier cas la glotte est presque close tandis que dans le second elle forme un

orifice béant. Mais la tension aérienne devra être plus forte en voix de poitrine où il faut faire vibrer une corde ligamenteuse assez résistante, qu'en voix de tête où il suffira de mettre en vibration une muqueuse mince et souple. Ces deux conditions spéciales, d'une part peu d'air à forte pression, d'autre part beaucoup d'air à faible tension, sont des conséquences fatales du degré de l'ouverture de la glotte accommodée à chacun des registres, tels que je les ai expliqués : elles se déduisent l'une de l'autre, car du moment où la glotte se ferme pour laisser sortir moins d'air, elle augmente du même coup la tension aérienne, sans que les muscles expirateurs aient besoin de se contracter davantage; puis quand elle s'ouvre pour donner passage à une plus grande quantité de fluide, elle abaisse inévitablement la tension de ce dernier, sans qu'aucune atténuation de nos forces expiratrices ait à intervenir dans ce mécanisme.

Il est fort difficile de mesurer expérimentalement les variations de pression trachéale résultant du passage de la voix d'un registre à l'autre : il faudrait pour cela que quelques chanteurs expérimentés consentissent à se laisser trachéotomiser, car les adultes trachéotomisés, chez qui j'ai pu adapter un manomètre à la canule trachéale, avaient tous de telles lésions du larynx qu'il n'y avait à noter chez eux qu'une raucité monotone. Mais il est aisé de constater la plus grande dépense d'air caractéristique du son de fausset. Garcia[1] faisait faire à un chanteur une inspiration aussi profonde que possible, puis il l'en-

1. Garcia. *Gaz. méd. de Paris*, IX, p. 270, 1841.

gageait à tenir aussi longtemps que possible une note alternativement en voix de poitrine et en voix de tête. Dans le premier cas, le métronome avait le temps de faire vingt-six oscillations et dix-huit seulement dans le second.

J'ai varié cette expérience et suis arrivé à un résultat semblable. En me servant du spiromètre de Bellangé, j'ai vu que la note LA_3 tenue cinq secondes nécessite une dépense de 110 centimètres cubes d'air en voix de fausset et n'use que 30 centimètres cubes en voix de poitrine.

3° *Au point de vue laryngoscopique*, il est aisé de vérifier l'exactitude de cette théorie.

L'examen laryngoscopique pratiqué à l'aide de l'éclairage externe sous-glottique a montré à Lennox-Brown, à Stoerk, que dans la voix de poitrine les cordes vocales paraissent opaques, tandis qu'en voix de tête elles sont unies et semblent réduites à une fine membrane.

Quant aux deux aspects de l'ouverture glottique variant suivant les registres, ils ont été constatés de tout temps. « Au registre de poitrine appartient la forme rectiligne de l'ouverture glottique, dit Battaille; au registre de fausset la forme ellipsoïde; » au reste il n'y a qu'à ouvrir n'importe quel livre qui traite de la physiologie de la voix pour se convaincre que même les auteurs qui caractérisent le passage en voix de fausset par une diminution de la longueur des cordes vocales, admettent néanmoins que la glotte prend à ce moment une forme ellipsoïde et s'élargit. — Je tiens, en outre, à signaler ce fait curieux, qu'il y a analogie presque absolue entre l'aspect d'une glotte pendant l'émission

du son de fausset et l'apparence d'une même glotte maintenue elliptique et béante par suite d'une paralysie double des muscles thyro-aryténoïdiens : il est tout naturel que l'expression symptomatique de ces deux causes soit la même, puisque ces deux états relèvent en somme d'une même origine première, le relâchement voulu ou la parésie morbide du thyro-aryténoïdien.

4° *Au point de vue pathologique*, il ne manque pas de faits que je pourrais invoquer à l'appui de la théorie. Mais il ne sied point à la nature de ce travail de faire intervenir une preuve pathologique dans une démonstration de physiologie pure, puisque dans les autres parties de cet ouvrage je compte m'appuyer sur ces démonstrations physiologiques pour expliquer les diverses modalités vocales des glottes malades.

5° *Au point de vue musical* enfin, je trouve une concordance parfaite entre les faits et l'explication que j'en apporte.

Musicalement, les deux registres se distinguent par :

Une différence de timbre ;

Une différence de hauteur.

Or ces distinctions sont parfaitement justifiées puisque les sons de chaque registre sont produits par des anches différentes de nature et de volume.

Le timbre des sons de poitrine est plein, dur, mordant, anché, riche en harmoniques ; le timbre des sons de fausset est doux, flûté et possède beaucoup moins d'harmoniques. Ces différences peuvent à mon sens s'expliquer avec la théorie actuelle et résultent de plusieurs causes :

A. — La différence de nature des lames vibrantes entraîne nécessairement une différence de timbre. D'une

part la muqueuse mince produit un son faible et doux; d'autre part, la corde ligamenteuse donne naissance à des sons plus intenses, plus durs. Qui sait même si à ce moment la muqueuse et la fibreuse vibrant simultanément ne donnent pas lieu à des ondes différentes dont la combinaison produit ce son mordant et presque dysharmonique qui caractérise la voix de poitrine, grâce à la superposition des harmoniques spéciales à chacun de ces tissus?

B. — On peut comparer la glotte du registre de poitrine à une anche battante; la glotte du registre de fausset à une anche libre. Il y a ici, il est vrai, ressemblance et non point analogie complète : mais telle qu'elle est cette comparaison est encore très bonne. On sait que dans l'anche libre la lame oscillante rase sans les toucher les bords de l'orifice qu'elle doit fermer tandis que dans l'anche battante cette lame, plus grande que l'orifice, vient frapper à chaque instant contre ses bords. Ce choc intermittent qui caractérise le jeu de l'anche battante se produit dans la voix de poitrine où à chaque oscillation les cordes vocales se touchent; de là le timbre mordant des sons de ce registre dont on ne trouve ni la cause ni l'effet dans la voix de fausset. — Au reste, ce qui prouve que, outre les différences de nature du tissu vibrant, il faut tenir compte encore de la différence de mode d'oscillation des anches vocales dans les deux registres c'est que, avec des anches membraneuses artificielles, dont on change la position sans modifier en rien la texture, on imprime au son obtenu des modifications analogues aux précédentes[1].

1. C'est également dans la disposition variable de l'anche vocale beaucoup plus que dans l'accommodation des cavités de résonnance sus-laryngiennes

C. — Enfin les sons de fausset sont moins riches en harmoniques que les sons de poitrine. Pour déve-

qu'on doit rechercher la cause du timbre différent de la voix chantée et de la voix parlée. L'homme a trois sortes de voix, a dit J.-J. Rousseau : la voix parlante ou articulée, la voix chantante ou mélodieuse, la voix pathétique ou accentuée, qui sert de langage aux passions et qui anime le chant et la parole. Malgré tout ce que cette division a d'arbitraire et d'inexact, il n'en est pas moins vrai qu'à hauteur égale, la voix parlée est plus mordante, plus dure que la voix chantée. Rien de plus fréquent que de voir des acteurs dont la voix rauque et désagréable dans la conversation prend une pureté parfaite quand elle éclate en scène. Lasègue a dit qu'il y avait là un fait analogue à celui d'un muscle rhumatisé que détend l'exercice. Farges (*Maladies chroniques de la gorge et de la voix.* Paris, F. Alcan 1884) croit que quand la voix éclate, le nombre et la majesté des harmoniques voilent le bruit particulier du passage de l'air à travers la glotte. Helmoltz a surtout étudié les variétés de timbre des voix. Il croit que le timbre particulier des voix mordantes est dû à ce que les bords des cordes vocales ne sont pas assez unis pour former une fente étroite régulière sans se heurter l'un à l'autre; les voix voilées proviennent peut-être de ce que l'orifice glottique ne se ferme jamais exactement pendant les vibrations des cordes vocales. Helmholtz a fait remarquer que quand on passe du chant à la parole, en même temps que la voix devient dure et mordante, on éprouve une sensation toute spéciale de contraction du larynx, et il croit que pendant l'émission de la voix parlée les cordes vocales s'entrechoquent comme les anches battantes. Analogue est

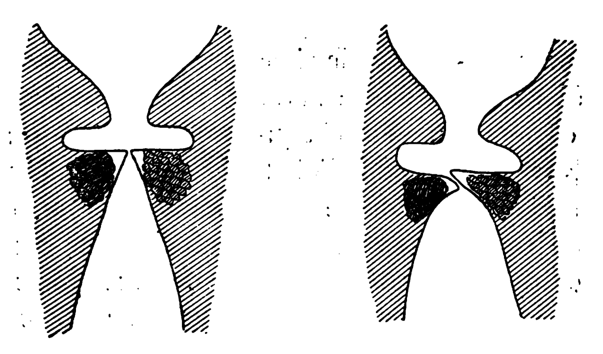


Fig. 14. Fig. 15.

l'opinion de Donders. « Il fait remarquer que la voix de poitrine parlée s'accompagne d'harmoniques éclatantes semblables aux harmoniques des sons des anches battantes, tandis que dans le chant les harmoniques sont faibles et correspondent aux harmoniques des sons des anches libres (Gavarret) Techmer (*Zur vergleichenden Physiologie des Stimme und Sprache.* Leipzig Engelmann, 1880), dans sa dissertation inaugurale, émet une même opinion et donne deux schémas ci-dessus : l'un (fig. 14) où les cordes vocales

lopper cette idée, il faudrait faire l'histoire des variations de forme des résonnateurs sus-glottiques, pharyngiens, buccaux, etc.; mais sans entamer cette importante étude, il y a lieu de se demander si le relâchement du thyro-aryténoïdien interne pendant la voix de fausset n'entraine pas aussi celui du thyro-aryténoïdien externe, et si de cette façon les ventricules devenus flasques ne cessent pas de fonctionner comme cavités résonnantes, attendu qu'ils ne possèdent plus la rigidité musculaire capable de les accorder aux harmoniques de sons de la glotte.

La différence de hauteur des deux registres est également explicable :

1° Par ce que l'anche muqueuse de la voix de fausset doit émettre des sons plus aigus que l'anche fibreuse de la voix de poitrine :

2° Et parce que le crico-thyroïdien n'étant plus gêné dans son action par la résistance que lui opposait auparavant le muscle thyro-aryténoïdien contracté, peut agir plus aisément et dans une mesure plus grande (Voir plus loin : *F. de la concordance des registres*).

E. — DU MÉCANISME DE LA GAMME

Quand on jette un coup d'œil d'ensemble sur l'action des muscles du larynx telle qu'elle vient d'être décrite, on voit que le crico-thyroïdien n'a qu'un seul

viennent en simple contact correspond à la *vox cantus;* l'autre (fig. 15) où les cordes vocales s'entrechoquent, appartient à la *vox impellens loquelæ*. On voit donc que dans la voix parlée les cordes vocales s'imbriquent et s'entrechoquent. Dans la voix chantée (registre de poitrine) elles viennent en contact à chaque oscillation ; dans la voix de fausset elles laissent constamment entre elles un espace glottique béant.

office à remplir qui est de tendre la corde vocale, tandis que le thyro-aryténoïdien se contracte pour amener deux effets différents : relâchement des cordes vocales et en même temps accommodation de la glotte en voix de poitrine. Or, il semble que, à certains moments, ces deux fonctions du même muscle soient incompatibles : ainsi, dans les sons élevés du registre de poitrine il doit être contracté pour empêcher la voix de passer en fausset, et en même temps relâché pour ne pas s'opposer à la tension de cordes vocales nécessaires à l'émission des notes hautes ; et aussi on peut se demander comment son inertie complète peut s'accorder avec la production de sons graves de fausset, puisque toute note grave exige un relâchement des cordes vocales : et si pour produire ce relâchement le thyro-aryténoïdien se contractait, la voix reviendrait immédiatement en registre de poitrine. Ces incompatibilités ne sont pas seulement apparentes : à certains moments elle s'accentuent : et c'est principalement leur exagération poussée à sa dernière limite qui détermine le passage instinctif et nécessaire d'un registre dans l'autre.

Pour saisir ce mécanisme il faut suivre les modifications qui se produisent dans le larynx tandis que le chanteur monte puis redescend une gamme étendue.

Je suppose un baryton qui commence sa gamme au SOL_1. Cette note est donnée en voix de poitrine, car pour amener le relâchement de la corde vocale qui lui correspond il faut que le thyro-aryténoïdien se contracte fortement ; du fait de sa contraction résulte donc l'établissement du registre de poitrine. A ce moment le courant d'air expiré sort avec douceur pour

empêcher que l'excès de tension aérienne ne vienne neutraliser l'effet du relèchement actif de cordes vocales. Le crico-aryténoïdien est relâché : le thyro-aryténoïdien prédomine absolument.

Mais à chaque note plus haute le crico-thyroïdien se contracte de mieux en mieux, et diminue le relâchement des cordes : et il arrive un moment, vers le FA_2 où la contraction du tenseur fait équilibre à la contraction du relâcheur : la position d'*intonation normale* est alors atteinte.

Jusqu'ici, au dessous de l'intonation normale, les notes de poitrine étaient sorties avec la plus grande facilité, car une seule et même cause, la contraction du thyro-aryténoïdien concourait à produire simultanément les deux effets vocaux demandés : son grave et son de poitrine : la contraction du tenseur, encore trop faible, ne pouvait lui faire échec. Mais au-dessus de l'intonation normale, la contraction du tenseur devient prédominante. Si, à l'inverse de ce qui se passe dans l'octave basse, chaque haussement de note amenait une contraction plus forte du tenseur et une détente plus marquée du relâcheur, rien ne serait plus simple à expliquer; mais il n'en est point ainsi. Si peu à peu le thyro-aryténoïdien cessait de se contracter, il arriverait un moment où la voix passerait en fausset : or cela doit être évité à tout prix. Il faut donc que pour assurer la montée de la gamme en voix de poitrine, tandis que le tenseur agit de plus en plus, le relâcheur reste contracté, à un degré peut-être un peu moindre que pour les notes graves, mais cependant encore très marqué. A l'effort du muscle crico-thyroïdien, le thyro-aryténoïdien oppose donc

sa force de contraction; si ces muscles étaient également puissants, la lutte vocale demeurerait stérile, puisqu'il n'y aurait aucun effet produit : et il se passerait quelque chose d'analogue à ce que Barthez a appelé la *force de situation fixe*. En réalité les puissances tensives l'emportent, et cela permet au son de poitrine de monter encore. Dans cette lutte, l'équilibre se rompt en faveur de la tension pour trois raisons :

1° Parce qu'au lieu qu'il y ait un état de contraction moyenne des deux muscles comme en position d'intonation normale, le tenseur se contracte avec une énergie puissante, tandis que le relâcheur se détend dans un degré de laxité compatible avec le maintien du registre de poitrine; 2° parce que si l'on considère les mouvements de bascule de la masse crico-aryténoïdienne, on verra qu'il est aisé de la comparer à un levier du premier genre, dont le point d'appui serait en arrière, à peu près au niveau du bord inférieur du cricoïde : le muscle crico-thyroïdien agit sur le grand bras de levier ce qui augmente sa force, tandis que le thyro-aryténoïdien inséré à l'extrémité du petit bras oppose moins de résistance, mais par contre se laisse étendre d'une longueur moindre; 3° enfin, parce que dans les notes élevées du registre de poitrine, où la lutte vocale entre les deux muscles devient de plus en plus chaude et pénible pour le chanteur, la tension de l'air augmentant à la fois, par suite de l'occlusion glottique et par l'exagération volontaire de l'effort des muscles expiratoires, vient à la rescousse du muscle tenseur en produisant une forte tension passive des cordes vocales. Et c'est pour cela que

les notes élevées de poitrine doivent être chantées fortissimo et à pleine voix.

Mais enfin, vers le SOL_3, un moment arrive où la limite supérieure du registre de poitrine est atteinte; même aidé de la pression aérienne, le tenseur ne peut plus lutter davantage contre la résistance du thyro-aryténoïdien, qui à chaque note s'accroît d'un degré. Le chanteur, pour monter plus haut encore n'a plus qu'une ressource : c'est de passer de la voix de poitrine en voix de fausset; immédiatement le thyro-aryténoïdien se relâche et le crico-thyroïdien, n'éprouvant plus de résistance, peut en toute liberté augmenter sa contraction, tendre davantage les cordes vocales qui ne lui opposent plus que leur élasticité; et ainsi la voix peut escalader le $RÉ_4$ et même le MI_4.

Maintenant il s'agit de descendre la gamme et de revenir au point de départ. La descente commence en fausset, elle est d'abord très facile, le crico-thyroïdien se contracte de moins en moins, et l'élasticité de la corde vocale suffit à produire l'abaissement de ton, d'autant plus qu'elle y est aidée par la tension de l'air qui décroit; on atteint ainsi aisément le SOL_3 . Mais pour pouvoir descendre davantage il faudrait qu'une puissance active intervînt pour relâcher les cordes vocales, car le crico-thyroïdien a beau se relâcher, l'élasticité des cordes est épuisée et ne peut plus produire la détente plus forte nécessaire à une intonation plus basse. On peut alors en diminuant considérablement la tension aérienne abaisser la note jusqu'au MI_3 , mais ce son de fausset n'est plus qu'un murmure à peine perceptible. Pour que la descente continue, il faut absolument que le thyro-aryténoïdien entre en

jeu. Il se contracte donc, mais comme il ne peut séparer ses deux fonctions, du moment où il se contracte pour raccourcir la corde, vocale il ramène du même coup le registre de poitrine.

La lutte vocale est alors rétablie ; elle diminue progressivement jusqu'au retour en position d'intonation normale ; puis, à ce moment, le thyro-aryténoïdien l'emporte définitivement, et sa suprématie ne fait que s'accroître jusque vers les notes les plus basses de poitrine, lesquelles, en général, chantées faibles et douces, ne sont obtenues que grâce à un artifice qui consiste à abaisser à son minimum la pression de l'air sous-glottique.

Segond a cherché, par une interprétation des plus compliquées, à expliquer comment il se fait que le passage du registre de fausset au registre de poitrine soit beaucoup plus aisé sur une note du médium que sur une note haute. Avec le schéma de la gamme tel que je viens de l'établir, l'explication en est bien simple. Dans les sons aigus, la transition est difficile car il faut que la glotte passe de la position relativement calme de la voix de fausset à un état de lutte musculaire vocale extrême ; tandis que dans le médium, la contraction du thyro-aryténoïdien devient tellement nécessaire à la descente ultérieure de la gamme qu'à ce moment la transition en voix de poitrine, au lieu d'être difficile, est non seulement aisée, mais naturelle, fatale même : elle s'impose.

On remarquera aussi qu'en voix de poitrine il y a constamment lutte entre deux muscles antagonistes ; et que tout haussement ou abaissement de ton dépend de la prédominance d'action de l'un ou de l'autre.

Rien de semblable en voix de fausset ; il ne reste plus qu'un seul muscle agissant, le tenseur : c'est lui qui assure la montée de la gamme tandis que la descente n'a pour cause immédiate que la mise en jeu de l'élasticité des cordes vocales. Il en résulte que toute note de fausset est dans un état d'équilibre instable, et n'a pas la sûreté pure et fixe d'une note de poitrine. Il est vrai que ce défaut se corrige chez les chanteurs : grâce à l'éducation et à l'entraînement méthodique, la voix peut subir des modifications telles que les lois physiques soient éludées au mieux des intérêts de la musique.

F. — DE LA CONCORDANCE DES DEUX REGISTRES

A tension musculaire égale, une note de fausset est plus élevée qu'une note de poitrine par la cause simple que l'anche vibrante, à tension et longueur égales, est beaucoup plus mince dans le premier cas que dans le second ; ici, muqueuse et ligament vibrent ensemble : là, la muqueuse seule oscille.

Par quel intervalle de ton peut-on chiffrer cette différence? Chez le vivant j'ai vu que, toutes conditions autres égales du reste, le son de fausset est supérieur d'environ *une quarte* au son de poitrine physiologiquement correspondant.

Sur le cadavre, du reste, cet écart n'a pas d'intérêt : il est fort curieux, au contraire, de noter l'espace musical qui à l'état de vie sépare la hauteur moyenne des deux registres. Or cette hauteur moyenne est impossible à calculer, par la raison qu'il

n'y a point en voix de fausset d'intonation normale possible: mais il est aisé de mesurer l'écartement qui existe entre la plus haute note du registre de poitrine et le son le plus aigu du registre de fausset. J'ai fait cette comparaison chez un certain nombre de chanteurs hommes; j'en ai enregistré les résultats dans le tableau suivant :

		Note supérieure de poitrine.	Note supérieure de fausset.	Intervalle.
Isn.........	basse	FA♯$_3$	UT$_4$	quarte.
Fug.........	baryton	SOL$_3$	MI$_4$	sixte.
Ler.........	—	FA$_3$	RE$_4$	quinte.
De Pr.......	—	LA$_3$	MI$_4$	quinte.
Lant........	—	LA$_3$	UT$_3$	tierce.
Sou........	—	SI$_3$	MI$_4$	quarte.
Mou........	ténor	SI$_3$	MI$_4$	quarte.
Deg........	—	UT$_4$	MI$_4$	tierce.
Her........	—	UT$_4$	MI$_4$	tierce.

L'écart qui existe entre la limite supérieure des deux régistres est donc variable suivant les individus; cependant en moyenne il oscille entre une quinte et une tierce, restreint surtout chez les ténors où la lutte vocale en poitrine se produit plus souvent et plus vigoureusement que chez les barytons et les basses. En somme, l'expérimentation sur les larynx de chanteur et les larynx de cadavre donne des résultats presque analogues : une quarte en moyenne sépare les diapasons des deux registres. — Il est convenu que je n'entends parler ici que de voix d'hommes, n'ayant point encore d'opinion arrêtée sur l'étendue de la voix de fausset chez la femme.

Cette différence d'une quarte est très faible. Au premier abord elle semblerait devoir être beaucoup plus considérable : 1° parce que la masse vibrante

de la muqueuse est infiniment moindre que celle de la muqueuse et de la fibreuse réunies; 2° parce que le crico-thyroïdien n'ayant plus d'antagoniste qui lui résiste peut amener sa contraction à un degré bien plus fort. Cependant il n'en est rien. Je crois que la principale cause qui empêche l'écart musical des deux registres d'être aussi marqué que le feraient supposer les considérations anatomiques précédentes réside dans la différence des pressions aériennes. Dans la voix de fausset, grâce à l'ouverture elliptique de la glotte, la pression aérienne est infiniment moindre que dans le registre de poitrine; et cette atténuation considérable de l'effet de la tension passive des cordes vocales par l'air doit dans une certaine mesure compenser et l'influence résultant de la diminution de la masse vibrante et l'effet produit par la facilité plus grande de tension musculaire. De sorte que si on veut bien de part et d'autre mettre en balance ces raisons opposées, on verra qu'il est théoriquement fort admissible que l'intervalle entre les deux registres soit d'une quarte ou d'une quinte, comme le démontrent et l'observation cadavérique et l'observation des chanteurs.

Quant à la question de savoir pourquoi l'étendue de la voix de fausset, si restreinte chez l'homme, se développe chez la femme dans une telle ampleur, je la crois actuellement insoluble. Peut-être les puissances musculaires étant beaucoup moindres chez la femme, la lutte vocale pour le maintien de la voix de poitrine se fait chez elle avec une énergie beaucoup moins grande que chez l'homme, le thyro-aryténoïdien cède plus tôt, et la voix de fausset s'établit prématu-

rément. Mais pourquoi les sons de ce registre, qui chez l'homme sont faibles et mal posés, composent-ils la partie la plus sonore, la plus brillante du clavier vocal féminin? là est le mystère. Car je ne crois pas que Merkel[1] ait jeté un grand jour sur ce point en déclarant que la petitesse des cordes vocales féminines et la hauteur du diapason vocal des soprani et contralti expliquent la ressemblance et de confusion qui s'établissent à chaque instant chez la femme entre les sons de poitrine et les sons de fausset. Anatomiquement, pour expliquer ces différences, il faudrait démontrer que la muqueuse vocale est relativement plus forte et plus épaisse chez la femme que chez l'homme, que chez elle le crico-thyroïdien l'emporte de beaucoup en énergie sur le thyro-aryténoïdien. Cela n'a pas encore été fait que je sache[2].

1. Merkel. *Anthropophonik*, p. 621.

2. J'ai eu dernièrement l'occasion d'examiner au laryngoscope, M. P..., un chanteur de l'Alcazar qui s'est acquis une grande réputation par ses remarquables imitations de la voix de femme : les résultats de cet examen sont de nature à confirmer encore la théorie de la voix de fausset telle que je l'ai présentée.

M. P... au moment de la mue a gagné des notes graves mais n'a pas perdu de notes aiguës, de telle sorte qu'actuellement sa voix possède plu de trois octaves, et s'étend du sol_1 au la_4 *en registre de poitrine*. Sur toutes les notes qui du sol_1, au fa_3 correspondent à la voix de baryton, M. P... donne peu de son et chante d'une façon très ordinaire. Mais du sol_3 à la_4, sa voix, tout en gardant le timbre de poitrine, prend un éclat remarquable, et acquiert la pureté cristalline des notes de femme. — Au contraire dans le registre de fausset, qu'il n'a pas exercé, il atteint à peine le si_3.

Ainsi donc voilà un cas rare, unique peut-être, où la concordance des registres se trouve inverse de ce qu'elle est à l'état normal, puisque le registre de poitrine dépasse de six notes le registre de fausset. L'examen laryngoscopique explique ce phénomène. Au moment où M. P... commence à atteindre ses notes féminines, il se passe dans sa glotte une modification presque analogue à celle que M. Vacher considère comme caractéristique constante du registre du fausset : par suite de la contraction d'un faisceau du thyro-aryténoïdien — faisceau probablement spécial à ce larynx et qui lui donne son étonnante faculté — la glotte membraneuse se ferme

CONCLUSIONS

1° Le mécanisme de l'élévation et de l'abaissement de la voix réside presque uniquement dans la tension ou le relâchement des cordes vocales. La longueur des cordes n'entre jamais comme facteur dans ces modifications, puisque, au contraire, elle augmente quand le son s'élève.

2° Les variations de diamètre de l'ouverture glottique influent sur le timbre mais non sur la hauteur de la voix.

3° La béance de la glotte inter-aryténoïdienne produit constamment l'aphonie. La fermeture de cet espace au moment de l'émission du son est assurée

dans son tiers postérieur; l'orifice glottique ainsi réduit, présente une longueur d'à peine $0^m,010$ (glotte de femme) : et les cordes vocales devenues plus courtes d'un tiers, raccourcies à la longueur qu'elles ont dans le sexe féminin, donnent des sons aigus proportionnés à leurs nouvelles dimensions. En un mot, M. P... à un moment donné substitue à sa glotte d'homme une glotte de femme qui lui permet de fournir une octave de plus dans les sons les plus hauts.

S'il lui est ainsi possible de prolonger sa voix de poitrine, c'est grâce à une contraction spéciale des muscles thyro-aryténoïdiens, action qui est aussi contradictoire des règles formulées jusqu'ici que cette voix bizarre est en désaccord avec la phonation naturelle de l'homme. Mais dans la voix de fausset, cet artifice n'est plus possible, attendu qu'à ce moment le thyro-aryténoïdien doit être détendu. De sorte que quand M. P... arrivé au *si*$_5$, limite supérieure de sa voix de fausset, veut monter plus haut, il emploie le procédé qui lui est connu, et contracte son muscle thyro-aryténoïdien pour raccourcir la glotte : mais au moment où cette contraction se produit, la voix passe en registre de poitrine.

J'ai tenu à citer cet exemple, car il me paraît fournir un excellent argument en faveur de la théorie soutenue dans ma thèse.

par la contraction du muscle ary-aryténoïdien : cependant il est probable qu'un léger degré d'écartement des aryténoïdes est compatible avec la production des sons graves du registre de poitrine.

4° La contraction simultanée des crico-aryténoïdiens latéraux et postérieurs assure la fixation solide des aryténoïdes sur le cricoïde sans laquelle l'effet des muscles vocaux n'est point possible.

5° Le crico-thyroïdien est le seul muscle tenseur des cordes vocales.

6° Le thyro-aryténoïdien interne a deux effets quand il se contracte :

a) En rapprochant leurs extrémités, il relâche les cordes vocales ligamenteuses;

b) En se gonflant, il exerce sur celles-ci une pression latérale de dehors en dedans qui assure le maintien de la voix de poitrine.

7° Il y a donc dans le larynx accommodé à la phonation antagonisme et lutte vocale perpétuelle entre les tenseurs et les relâcheurs des cordes vocales.

8° L'intonation normale résulte de l'équilibre qui s'établit entre ces deux forces opposées.

9° Indépendamment de la contraction du muscle crico-thyroïdien, qui les tend activement, les cordes vocales subissent de la part de l'air expiré une tension passive; cette tension passive joue un grand rôle dans la production de sons élevés.

10° La compensation vocale est le phénomène grâce auquel une note peut être variée dans son intensité sans que sa hauteur se modifie: elle est due à ce que la tension active des cordes vocales diminue quand la tension passive augmente et inversement, de façon

que la somme de ces deux tensions reste constante. Le crico-thyroïdien est le muscle de la compensation vocale.

11° Le son vocal est dû aux vibrations primitivement sonores des cordes et non aux vibrations de l'air.

12° Le muscle thyro-aryténoïdien ne vibre jamais.

13° *Dans la voix de poitrine,* les couches fibreuse et muqueuse vibrent ensemble ; le muscle thyro-aryténoïdien reste contracté ; la fente glottique est presque nulle ; il y a forte pression mais faible dépense d'air.

Dans la voix de fausset, la muqueuse vocale vibre seule; le muscle thyro-aryténoïdien est relâché; la glotte demeure elliptique et béante : la dépense d'air expiré est forte, mais sa pression est très faible.

Le muscle thyro-aryténoïdien interne est le muscle de la voix de poitrine.

14° L'écart qui existe entre les diapasons de ces deux registres est en moyenne d'une quarte.

15° Les différences de hauteur de ces deux registres sont dues aux différences de nature, et non point aux différences de longueur des anches vocales.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Adelon. — Art. Voix in Dictionnaire de médecine en 30 vol., t. XXX, p. 834, Paris, 1846.

Amman (C.). — Surdus loquens, seu Dissertatio de loquelæ. Amsterdam, 1702.

Battaille (Ch.). — Nouvelles recherches sur la phonation. — Comptes rendus Acad. des sciences, t. LII, p. 716-722. Paris, 1861.

Id. — Nouvelles recherches sur la phonation in-8. Paris. V. Masson, 1861.

Beaunis (H.). — Phonation. — Nouveaux éléments de physiologie humaine, t. II p. 931. Paris 1875.

Id. — De la justesse et de la fausseté de la voix. — Étude de physiologie musicale in-8. Paris, J-.B. Baillière, 1884.

Béclard (J.). — Art. Larynx, in Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales 2e série, t. I. Paris, 1868.

Id. — Voix et parole. — Traité élémentaire de physiologie humaine, 6e édit. Paris. Asselin. 1870.

Bell. — Philosophical transactions. 1832.

Bennati. — Études physiologiques et pathologiques sur les organes de la voix humaine, in 8. Paris. J.-B. Baillière. 1833.

Id. — Mémoire sur un cas particulier d'anomalie de la voix humaine pendant le chant, in-8. Paris, 1834.

Id. — Du mécanisme de la voix humaine pendant le chant. — Arch. gén. de médecine, t. XXIII, p. 306.

Bergmann. — Eine Function der Glottis. — Du Bois-Reymond's Archiv für Anatomie und Physiologie. Leipzig, 1845.

Bergonié. — Des phénomènes physiques de la phonation. — Thèse d'agrégation. Paris, 1883.

Bidloo. — Exercitationes anatom., chirurg. p. 2. Lugd. Batav. 1708.

BISHOP (J.). — An experimental inquiry into the cause of the grave and acute tones of the human voice. — Philosophical transactions. London, 1835.

ID. — Experimental researches into the physiology of the human voice. — Philosophical transactions. London, 1836.

ID. — Art. VOICE, in Todd's Cyclopœdia, t. IV, 1852.

BIOT. — Traité de physique, t. II, p. 190,

BLANDET. — Du mécanisme de la voix humaine. — Gazette médicale, n° 37. 1846.

BOSWORTH. — La voix de chant. Son éducation méthodique. Communication au congrès de Copenhague 1884. — Ann. Mal. or. larynx, p. 313, 1884.

BOURGUET. — Nouvelles considérations sur la bronchotomie et sur quelques points de la phonation. — Thèse de doctorat. Montpellier, 1844.

ID. — Résultat de l'oblitération de la glotte chez l'homme au point de vue de l'acte de la parole. — Gazette médicale, n° 9. 1856.

BOUTIN. — Quels sont les principaux vices de circulation des sons? — Thèse de doctorat. Paris, 1838.

BRANDT. — Instrum. vocis mammalium, 1826.

BRESGEN. — Der menschliche Stimm und Sprachorgan. — Virchow Holtz Vorträge. 1879 (?)

BROWNE (Lennox). — Science and Singing. London Chappell and C°. 1884.

BROWNE (Lennox) and Emil BEHNKE. — Voice, Song and Speech, in-8. London. Sampson Low and C°, 1880.

BRUCH. — Zur Physiologie der Sprache. Basel, 1854.

BRUECKE. — Grundzüge der Physiologie und Systematik der Sprachlaute. Wien, 1856.

BRUN-SÉCHAUD. — Propositions physiques, anatomiques et physiologiques sur la voix et son mécanisme, dans le chant de l'homme et des oiseaux. — Thèse de doctorat, Paris, 1831.

C.V*** — Fonctions du muscle crico-thyroïdien ou muscle antérieur. — La presse médicale belge, n° 11, 1884.

CAGNIARD-LATOUR. — Sur la pression à laquelle l'air contenu dans la trachée se trouve soumis pendant l'acte de la phonation. — Comptes rendus Acad. des sciences, t. IV, 1837.

CARTER-MOFFAT. — Fabrication von Singstimmen mittelst Wasserstoffsuperoxyd. — Intern. Centralblatt für Laryng. und Rhinos., t. I, p. 40. Berlin, 1884.

CASTEX (A.). — Sur la physiologie de la voix et du chant. — Annales de mal. or. larynx, t. XII, p. 1, 1886.

CHLADNI. — Traité d'acoustique. Paris, 1809.

ID. — Annales de Gibert, t. VIII, p. 373.

COLOMBAT. — Traité des maladies des organes de la voix, ou recherches théoriques et pratiques sur la physiologie, la pathologie, la thérapeutique et l'hygiène de l'appareil vocal. Paris, 1834.

ID. — Sur le mécanisme des cris et leur intonation notée dans chaque espèce de douleurs physiques et morales. — Gazette des hôpitaux, 17 décembre 1839.

COOMES (M.-F.) — Vocal gymnastics, with report of cases. — Louisville Med. Journal, t. XVIII, n° 435, 26 avril 1884.

CRONIN. — On the production of voice. — The Medical Record, t. XXII, p. 222, 19 août 1882.

CUTTER (E.). — Some practical points about the false vocal bands. — Gaillard's Med. Journal. New-York, octobre 1884.

CZERMAK (J.) — Physiologische Untersuchungen mit Garcia's Kehlkopfspiegel. — Sitzungsberichte der kaiserl. Akad. der Wissenchaft. Math. Natur. Klasse., t. XXIX, p. 557-584. Wien, 1858.

ID. — Ueber die Sprache bei luftdicher Verschliessung des Kehlkopfes. — Sitzungsberichte. kais. Akad. Wien, 1859, t, XXXV, p. 65-72.

ID. — Bemerkungen zur Lehre vom Mechanismus des Larynx Verschlusses. — Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere, t. VIII, p. 489, 1861.

ID. — Ueber den Spiritus asper und lenis, und über die Flüsterstimme. Sitzungsbericht. kais. Akad. Wien, 1885.

DELESCHAMPS. — Étude physique des sons de la parole. — Thèse de doctorat, n° 176. Paris, 1869.

DESPINEY (F). — Physiologie de la voix et du chant. Paris, 1821. Réimpression, Bourg, 1841.

DIDAY et PÉTREQUIN. — Mémoire sur une nouvelle espèce de voix chantée. — Gazette médicale de Paris, p. 305, 1840.

DODART. — Mémoire sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons. — Mém. de l'Acad. des sc. de Paris, 1700, p. 144, 1706, p. 136, 1707, p. 66.

DONDERS. — Over de tong-werktingen. — Nederl. Arch. voor. Genees., t. I, 1865.

ID. — De Physiologie der Spraakklanken, 1870.

ID. — De menschlijke Stem?

DRELINCOURT. — Experimen. Anat. — Lugd. Batav., 1708.

DUCHAMBON. — Classification des sons. — Thèse de doctorat, n° 23. Montpellier, 1876.

DUCHENNE (de Boulogne). — Électrisation localisée, p. 94, Paris, 1872.

DUTROCHET. — Essai sur une nouvelle théorie de la voix avec l'exposé des divers systèmes qui ont paru jusqu'à ce jour sur cet objet. — Thèse de doctorat. Paris, 1806.

ID. — Mémoire pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des animaux et des végétaux, t. II, p. 519. Paris, 1837.

DUTTENHOFER. — Der menschliche Stimmorgan. — Corresp. des Würtemb. aerztl. Vereins, 1836.

DUVAL (M.). — Du larynx et de la phonation. — Cours de physiologie, 4e édit. Paris, J.-B. Baillière, 1879.

ENGEL (G.). — Studien zur Theorie des Gesanges. — Archiv für Anatomie und Physiologie. Leipzig, 1869.

EUSTACHE. — La voix, la parole et leurs organes. — Thèse de doctorat. Montpellier, 1869.

FABRIZZIO D'AQUAPENDANTE. — De visione, voce, auditu tractatus. Venise, 1600, in-fol. — Padoue, 1603. — Francfort, 1603-1614.

ID. — Tractatus de locutione et ejus instrumentis, in-4. Venise, 1603.

ID. — Liber de brutorum loquela. Padoue, 1603.

FERREIN. — De la formation de la voix de l'homme. — Mém. Acad. sciences, 1741, p. 409.

FOURNIÉ (E.). — Physiologie de la voix et de la parole, in-8. Paris, Delahaye, 1866.

ID. — Physiologie du son, de la voix et de la parole. — Revue médicale française et étrangère. Paris, 8 octobre 1881.

FRANCK (FR.). — De l'étude des phénomènes phonétiques à l'aide de la méthode graphique. — La nature, n° 227, p. 299, 1877.

FRAENKEL (B.). — Die Verwendung der manometerischen Flamme als Hülfsmittel zur Erkennung von Erkrankungen des Stimmorgans. — Deutsche Zeitschr. f. prakt. Med., p. 615. Leipzig, 1878.

FRENCH. — A case of double epiglottis and double voice. — Annals of the anat., and. surg. soc. of. Brooklyn. New-York, juillet 1880.

FRICK (J.-C.). — De theoria vocis. — Dissertatio Berolini, 1819.

FURBRINGER (M.). — Contribution à l'étude des muscles du larynx. Iena, 1875 (?)

GALIEN. — De usu partium. Éd. 1550 (?)

ID. — De Hippocratis et Platonis decretis. Lib. II, cap. 6. — De locis affectis. Lib. I, cap. 6. Venetiis, 1576.

GARCIA. — Mémoire sur la voix humaine (présenté à l'Académie des sciences en 1840). Paris, 1847.

ID. — Observations on the human voice. — Proceedings of the Royal Society, t. VII, n° 13, p. 399.

GARCIA. — Recherches sur la voix humaine. — Comptes rendus Acad. des sciences. Paris, 1er semestre 1861, p. 654.

ID. — Beobachtung über die menschlische Stimme. Wien, Braumüller, 1878.

GAVARRET. — Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition, in-8. Paris, Masson, 1877.

GAY (O.). — Théorie physique de la phonation. — Thèse d'agrégation. Paris, 1876.

GERDY. — Art. VOIX du Dictionnaire de médecine de l'encyclopédie méthodique.

ID. — Note sur la voix. — Bulletin des sciences médicales de Férussac t. VII, p. 318, 1830.

ID. — Art. VOIX dans sa Physiologie didactique et critique, t. Ier, 2e partie. Paris, 1832.

ID. — Mémoire sur la voix et sur la prononciation, in-8. Paris, 1842.

GORDON HOLMES. — A Treatise on vocal physiology and hygiene, with especial reference to the voice. London. Churchill, 1881.

GOUGUENHEIM et LERMOYEZ. — Physiologie de la voix et du chant. Hygiène du chanteur. — In-12. Paris, Delahaye, 1885.

GRUETZNER. — Physiologie der Stimme und Sprache, in Handbuch der Physiologie. — Herausgegeben von Dr L. Hermann, t. I, 2e partie. Leipzig, Vogel, 1879.

GUILLET. — Mémoire sur la mesure des quantités d'air dépensées pour la production des sons de la voix. — Compt. rend. Acad. sciences, t. 44, p. 146. Paris, 1857.

HACK (W.). — Ueber die Varianten der physiologischen Kehlkopfsbildes. — Festchr. d. 56. Vers. d. Naturforscher und Aerzte gewidmet von d. Naturf. Ges. zu Freiburg. — Freiburg und Tübingen, p. 164, 1883.

HAESER (H.). — Menschliche Stimme, ihre Organe, ihre Ausbildung, Pflege und Erhaltung, für Sänger, Lehrer und Freunde des Gesanges dargestellt. — In-4. Berlin, 1849.

HALLER. — Elementa physiologiæ, t. III, livre IX, § 8, 9, 10.

HARLESS. — Art. STIMME in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, t. 4.

HAYES (R.-A.). — On the action of the posterior crico-arytenoid muscles. — Dublin Journal of. med. sc., 1er mars 1881.

HEGMANN (P.). — De l'entrecroisement des cartilages aryténoïdes. — Berlin klin. Wochenchr. n° 2, 1882.

HELLWAG. — Diss. inaug. de formatione loquelæ. Tübingen, 1781 ou 1784 (?).

HELMHOLTZ. — Traité physiologique de la musique. Trad. franç. in-8. Paris, 1868.

HENLE. — Zur Physiologie der Stimme. Götting. Nachrichten, 1862.

HENSEN. — Ein einfaches Verfahren zur Beobachtung der Tonhöhe eines gesungenen Tons. — Archiv. f. Anatomie und Physiolog. Heft I et II, p. 155. Leipzig, 1879.

HIRSCHBERG. — Ueber laryngoskopische Methoden. Archiv f. die gesammte Physiologie der Menschen. 1878.

HOOPER (F.-H.). — Experimental researches on the tension of the vocal bands. — Boston Phys. Lab. Harward Med. School. 1883.

HOWARD. — Physiologie de la voix considérée au point de vue des causes des laryngites chroniques particulières aux chanteurs et aux orateurs. — The hahnemannian monthly, n° 6, juin 1883 (?).

ILLINGWORTH (R.-C.). — The physiology of the larynx. — The Lancet, t. I, p. 879. 1879.

JEANSELME et LERMOYEZ. — Étude sur la contractilité *post mortem* et sur l'action de certains muscles d'après des expériences faites sur des cadavres de cholériques. — Arch. de phys. normale et pathol., n° 6, 15 août 1885.

JELENFFY. — Ueber die Fixation der Giessbeckenknorpel während der Phonation. — Wiener med. Wochenschrift n[os] 3, 4. 1872.

ID. — Der musculus crico-thyreoïdeus. — Pflüger's Archiv. für die gesammte Physiologie der Menschen und der Thiere, t. VII. — Cahier I. p. 77-90. Bonn. 1873.

ID. — Der musculus vocalis und die Stimmregister. — Pflüger's Archiv, t. XXII, p. 50. 1880.

JUHEL-RENOY. — Art. VOIX, du Nouveau dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques, t. XXXIX, p. 557.

KAPLAN (H.). — Experimenteller Beitrag zur elektrischen Erregbarkeit des Glottismuskulatur nebst Bemerkungen über Lähmung der letzteren. — Inaug. Dissert. Berlin 1884.

KEEN (W.-W.). — Experiments on the laryngeal nerves. — Transactions of the college of physicians of Philadelphia. 1875.

KILIAN. — Beiträge zur Physiologie der menschlichen Stimme. — Pflüger's Archiv. f. die gesammte Phys. des menschen und der Thiere, t. IX. 1[re] partie, p. 244. Bonn. 1874.

KITCHEN. — The diaphragm and its functions considered especially in its relations to respiration and the production of voice, in-16. Albany, 1885.

KLUENDER. — Ein Versuch die Fehler zu bestimmen welche der Kehlkopf beim Halten eines Tons macht. 1872.

ID. — Ueber die Genauigkeit der Stimme. — Du Bois-Reymond's

Archiv f. Anatomie und Physiologie. Cahiers I et II, p. 119. Leipzig, 1879.

P. KOCH. — De la voix humaine, in-8. Luxembourg, 1874.

KOSCHLAKOFF. — Die kunstliche Reproduction und graphische Darstellung der Stimme und ihrer Anomalien. — Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere, t. XXXIV. Bonn, mai 1884.

KRAUSE. — Ueber die Beziehungen der Grosshirnrinde zur Kehlkopf und Rachen. — Du Bois-Reymond's Archiv f. Anat. und Phys. Phys. Abtheil. 203, 1884.

KRISHABER. — Recherches expérimentales sur les divers mécanismes d'occlusion du larynx. — Gazette médicale. Paris, 1869.

KRISHABER et PETER. — Art. LARYNX (Path. médicale) du Dict. encyclop. des sc. méd., 2e série, t. Ier.

LANDOIS. — Thier Stimmen, 1874 (?)

ID. — Physiologie des Menschen, 1879.

LAUGEL. — La voix, l'oreille et la musique, d'après les travaux de Helmholtz. — Revue des Deux-Mondes, mai 1867.

LEHFELDT. — Nonnulla de vocis formatione. — Diss. inaug. phys. Berlin, 1835.

LISCOVIUS. — Dissertatio sistens theoriam vocis, in-8. Leipzig, 1814.

I. — Physiologie der menschlichen Stimme fur Aerzte und Nicht-. ärzte. Leipzig, 1846.

LONGET. — Recherches expérimentales sur les fonctions de l'épiglotte. — Arch. gén. de méd., 3e série, t. XII, p. 417. Paris, 1841.

ID. — Recherches expérimentales sur les fonctions des nerfs, des muscles du larynx et sur l'influence du nerf accessoire de Willis dans la phonation. — Gaz. méd. de Paris, 24 juillet 1841.

ID. — Art. VOIX du Traité de physiologie, 3e édition, t. II. Paris, 1869.

LOERI. — Zur Physiologie der Stimme. — Pest. med. chirurg. Presse. 1877.

LUSCHKA. — Der Kehlkopf des Menschen. Tübingen, 1871.

MAGENDIE. — Mémoire sur l'épiglotte. Paris, an XIII.

ID. — De la voix, dans le Précis élémentaire de physiologie, t. Ier, p. 196. Paris, 1816.

MALGAIGNE. — Nouvelle théorie de la voix humaine. — Arch. gén. de médecine, t. XXV, p. 201 et 327. Paris, 1830.

MANDL. — De la fatigue de la voix dans ses rapports avec le mode de respiration. — Gazette médicale, nos 16 et 18. Paris, 1855.

ID. — Traité pratique des maladies du larynx. Paris, J.-B. Baillière, 1872.

MANDL. — Des rapports de la voix avec les professions. — Gazette des hôpitaux, p. 108. Paris, 1875.

ID. — Hygiène de la voix parlée ou chantée. — Paris, J.-B. Baillière, 1879.

MARCET (W.). — On the falsetto or head-sounds of the human voice. — The London Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, t. XXXVII, p. 289, janvier-juin 1869.

MARTEL (E.). — Étude expérimentale sur les fonctions du muscle thyro-cricoïdien. — Archiv. de phys. norm. et path., 3e série, t. I, p. 582, 1883.

ID. — Études sur la physiologie de la phonation. — Revue bibliograph. univers. des sc. méd., janvier-mars 1885, nos 13 et 15.

MASSON. — Nouvelle théorie de la voix. — Gazette hebdomadaire. Paris, 1858.

MAYER. — Ueber die menschliche Stimme und Sprache in Du Bois-Reymond's Archiv f. Anat. und Path., p. 188. Leipzig, 1826.

ID. — Ueber den Bau des Organes der Stimme bei dem Menschen den Saugethieren und einigen grösseren Vögeln. — Nebst physiologischen Bemerkungen in Nova acta Acad. Leopold. Carol., t. XX, 1852.

MAYO. — Outlines of human physiology. 1833.

MENDE. — Bewegung der Stimmritze beim Athmenholen. 1816.

MERKEL. — Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimm und Sprach-organs (Anthropophonik). Leipzig, 1857.

ID. — Ueber einige phonetische Streitpunkte. — Schmidt's Jahrbücher, t. 100. 1858.

ID. — Die neueren Leistungen auf dem gebiete der Laryngoscopie und Phonetik. — Schmidt's Jahrbücher, t. CVIII, 1860.

ID. — Die Functionen des menschlichen Schlund und Kehlkopfes Leipzig, 1862.

ID. — Der Kelkopf. Leipzig, 1873.

VON MEYER. — Stimm und Sprachbild. — Virch. Holtz Vorträge, 1871 (?).

MICHAEL. — Zur Physiologie und Pathologie des Gesanges. Berlin. klin. Wochenschr., nos 36 et 37, p. 520-534, 1876.

MOESER. — Das laryngoskopische Bild bei volkommener einseitiger Vagus-paralysie. Wiesbaden, 1885.

MOURA-BOUROUILLOU. — Cours complet de laryngoscopie, suivi des applications du laryngoscope à l'étude des phénomènes de la phonation et de la déglutition. Paris, 1861.

MOURA-BOUROUILLOU. — Mémoire sur l'anche vocale ou crico-glotique de l'homme. — Bulletin Acad. méd., 14 août 1883.

MOURA-BOUROUILLOU. — Physiologie du muscle crico-thyréoïdien. — Annales mal. or. larynx, t. XI, p. 71, 1885.

MUELLER. — Ueber die Compensation der physischen Kräfte am menschlichen Stimmapparat. Berlin, 1839.

ID. — De la voix, de l'organe vocal et des autres organes producteurs des sons chez l'homme et chez les animaux, — Manuel de physiologie. Traduction française de Jourdan, t. II, p. 167.

NOEGGERATH. — De voce, lingua, respiratione, deglutitione observationes quædam. Bonn. 1841.

OERTEL. — Laryngostroboskopische Beobachtungen ueber die Bildung der Register, bei der menschlischen Stimme. — Centralblatt, f. die med. Wissenschaft, p. 81-99. 1878.

PERRAULT (CL.). — Traité du bruit. 1680.

PÉTREQUIN et DIDAY. — Mémoire sur le mécanisme de la voix de fausset. — Gazette médicale, nos 8 et 9. Paris, 1844.

PLANQUE. — Art. VOIX de la Bibliothèque choisie de médecine. Paris, 1860, in-4°.

PRAT. — Du rôle physiologique des tubes cartilagineux, etc. — Gazette médicale. Paris, 1869.

RADAU. — L'acoustique et les phénomènes du son. Paris, 1867.

RAMPONT. — De la voix et de la parole. — Thèse de Paris. 1803.

RAPP. — Physiologie der Sprache. 1836-1840 (?).

RECLAM. — Sprache und Gesang. 1878.

RINNE. — Ueber das Stimmorgan und die Bildung der Stimme. — Du Bois Reymond's Archiv für Anat. und Phys. 1850.

RIOLAN. — Encheiridium anatomiæ, p. 243. Parisiis, 1562.

ROMER. — The physiology of the human voice. London. 1845.

ROSAPELLY. — Essai d'inscription des mouvements phonétiques. — Travaux du laboratoire de M. Marey. Paris, G. Masson. 1877.

ROSSBACH. — Physiologie und Pathologie der menschliche Stimme. 1869.

ID. — Doppeltönigkeit der Stimme (Diphthongie) bei ungleicher Spannung der Stimmbänder. — Archiv. f. path. Anat., t. LXIV, p. 571. 1872.

RUEDINGER. — Du muscle de la corde vocale supérieure. — Monatschrift. f. Ohrenheilkunde, etc., septembre, 1876.

RUDOLPHI. — Physiologie, t. II, p. 378. Berlin, 1828.

RUEHLMANN. — Untersuchungen über das Zusammenwirken der Muskeln bei einigen haüfiger vorkommenden Kehlkopfstellungen. — Sitzungsberichte der kaiserl. Akad. der Wissensch. in Wien. Math. Natur. Klasse. — 3e partie, t. LXIX, p. 257, 1874.

RUMBOLD (T.-F.). — The care of voice of professionnal voice users, — Saint-Louis Med. and. Surg. Journal, p. 137, 1885.

RUSH. — The philosophy of human voice. Philadelphia, 1822.

SAVART. — Mémoire sur la voix humaine. — Ann. de chimie et de physique, t. XXX, p. 64, 1825.

SAVART. — Mémoire sur la voix des oiseaux. — Ann. de chimie et de physique, t. XXXII, 1825.

SAVARD et DELEAU. — Mémoire sur la voix, présenté à l'Académie des sciences le 17 mai 1829.

SCHECH. — Experimentelle Untersuchungen über die Functionen der Nerven und Muskeln der Kehlkopfes. — Zeitschrift f. Biologie, t. IX, 1873.

SCHNITZLER. — Klin. Beobachtungen, etc., Vorgetragen in der 47e, Versammlung deutscher Naturforschr. und Aerzte, 1874.

SEDILLOT. — Thèse inaugurale, n° 274. Paris, 1829.

SEGOND. — Hygiène du chanteur. Paris, 1845.

ID. — Mémoires sur la parole et la voix. — Arch. gén. de médecine, 4e série, 1847, t. XIV, p. 346, t. XVI, p. 346, t. XVII, p. 200.

ID. — Sur la parole, sur les mouvements du larynx, sur les modifications du timbre de la voix humaine, surla voix inspiratoire. — Arch. gén. de méd., 4e série, t. XVII, 1848, t. XX, 1849.

ID. — Recherches expérimentales sur la phonation. — Arch. gén. de médecine, 4e série, t. XX, p. 195-311, 1849.

SEILER. — Altes und neues ueber die Ausbildung der Gesangorgans Leipzig, 1861.

SPITTA (E. J.). — An original view of the laryngeal movements. — The Lancet, 30 octobre 1875, p. 626.

STEIMER. — Ueber die Laryngoscopie am Kaninchen. — Pflüger's. Archiv f. die gesammte Physiologie, etc., 1878.

TECHMER (F.). — Zur vergleichenden Physiologie der Stimme, und Sprache. Leipzig, Engelmann, 1880.

TYNDALL. — Le Son. — Trad. française de l'abbé Moigno. Paris, 1877.

VACHER. — De la voix chez l'homme. — Thèse de doctorat Paris. 1877.

ID. — Sur la physiologie de la phonation. — Lyon médical, 30 juin 1878.

VERSON. — Art. KEHLKOPF in Handbuch der Lehre von den Geweben des Menschen und der Thiere von S. Stricker. Leipzig, 1870.

VÉSALE. — De humani corporis fabrica, p. 823. Basileæ, 1555.

VICQ D'AZYR. — Sur la voix. Mém. Acad. des sciences. Paris, 1779.

VOGEL (P.-A.). — De larynge humano et vocis formatione, i -4. Erfurth, 1847.

WALLIS. — De loquela sive de sonorum formatione, 1653 et 1727.

WALTON (G.-D.). — The functions of the epiglottis in deglutition and phonation. — Journal of Physiology, t. Ier, p. 303. London, 1878-1879.

WERNER (E.). — Nonnulla de vitiis loquelæ, 1848.

WHEATSTONE. — Critique des expériences de Willis. London and Westminster Review, 1837.

WIEDMANN (A.). — De voce humana atque de ignota cantus modulationa quædam. — Diss. inaug. Dorpat, 1836.

WILLIS. — Ann. de physique, t. XXIV, 1832.

ID. — Mechanism of the larynx. — Transactions of the Cambridge Phil. Society, 1833.

WYLLIE (J.). — Observations on the physiology of larynx. Edinburgh Medical Journal, vol. XII, sept. 1866.

X... — The movements of the vocal cords in the production of musical sounds. The Lancet, t. 1, p. 207, février 1873.

ZAWERTHAL. — La voce nell' uomo e negli animali. — Archivii italiani di laringologia, anno III, p. 1.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

EXPÉRIENCES

DEUXIÈME PARTIE

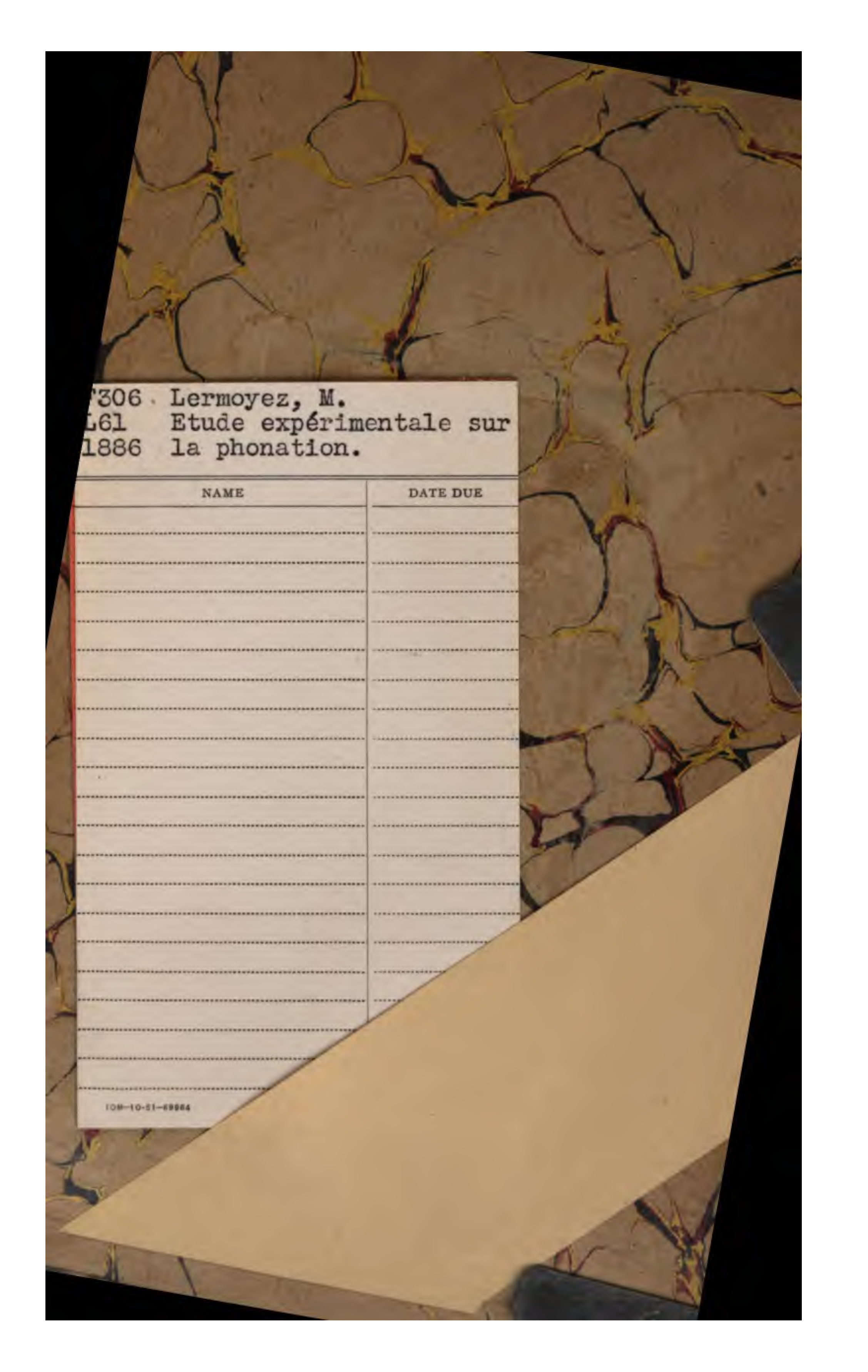
THÉORIES

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

BOURLOTON. — Imprimeries réunies, B.



LANE MEDICAL LIBRARY
This book should be returned on or before
the date last stamped below.
10M-4-49-63290



306 Lermoyez, M.
L61 Etude expérimentale sur
1886 la phonation.
NAME
DATE DUE

